



SKRIPSI – 141501

**STUDI ANALISIS PERFORMA DAN NO_x PADA MOTOR DIESEL
MENGUNAKAN *COLD EGR SPIRAL TUBE* BERBASIS EKSPERIMEN**

**Fatekhun Faris
4213100045**

**Dosen Pembimbing:
Prof. Semin, ST, MT, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - 141501

**AN STUDY ANALYSIS ON PERFORMANCE AND NO_x ON DIESEL
ENGINE USING COLD EGR SPIRAL TUBE BASED EXPERIMENT**

**Fatekhun Faris
4213100045**

**Academic Supervisor:
Prof. Semin, ST, MT, Ph.D**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISA PERFORMA DAN NOX PADA MOTOR DIESEL MENGUNAKAN *COLD EGR SPIRAL TUBE* BERBASIS EKSPERIMEN

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fatekhun Faris

NRP. 4213 100 045

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Semin, ST, MT, Ph.D

NIP. 1971011199702 001

()

SURABAYA

JULI 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISA PERFORMA DAN NOX PADA MOTOR DIESEL MENGUNAKAN *COLD EGR SPIRAL TUBE* BERBASIS EKSPERIMEN

SKRIPSI


Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Fatekhun Faris

NRP. 4213 100 045

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

STUDI ANALISIS PERFORMA, DAN NO_x PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN *COLD EGR SPIRAL TUBE* BERBASIS EKSPERIMEN

Nama Mahasiswa : Fatekhun Faris
NRP : 4213 100 045
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Prof. Semin, ST, MT, Ph.D

ABSTRAK

Dunia memiliki permasalahan yang sama dalam hal mengurangi gas emisi. Dari permasalahan tersebut, telah banyak ditemukan teknologi untuk mengurangi gas emisi, diantara adalah EGR (Exhaust Gas Recirculation). EGR dapat mereduksi NO_x dengan mensirkulasikan kembali sebagian dari gas buang ke dalam ruang bakar. Sistem EGR saat ini sering disebut dengan istilah hot EGR dimana proses sirkulasi gas buang tanpa sistem pendinginan. Setelah sistem EGR dirancang dengan penambahan *cooling system* dengan jenis cold EGR spiral tube maka gas buang yang digunakan kembali akan didinginkan terlebih dahulu. sehingga massa dari udara yang kembali ke ruang bakar akan meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk studi analisis terhadap performa motor dan penurunan kandungan NO_x pada sistem EGR setelah ditambahkan sistem cold EGR spiral tube berpendingin udara. Eksperimen ini dilakukan pada motor diesel Yanmar TF 85-MHDI. Dari segi performa *cold* EGR spiral tube nilai SFOC mampu diperbaiki pada kondisi bukaan katup 10% dengan penurunan sebesar 2,3%. untuk hasil uji kandungan emisi NO_x pada bukaan katup 10% cold EGR spiral tube pada motor mampu berkurang hingga 4,4 g/kWh atau sebesar 61,4% dan masuk pada spesifikasi TIER 2.

Keywords : *Exhaust Gas Recirculation (EGR), Cold EGR Spiral tube, performa motor, Nox.*

AN STUDY ANALYSIS ON PERFORMANCE AND NO_x ON DIESEL ENGINE USING COLD EGR SPIRAL TUBE BASED EXPERIMENT

Student Name : Fatekhun Faris
NRP : 4213 100 045
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Academic Supervisor : Prof. Semin, ST, MT, Ph.D

ABSTRACT

The world has the same problem to reduce emissions. Based the problem, many technologies invented to reduce the Emission. One of them is EGR (Exhaust Gas Recirculation). EGR is the most simple NO_x reduction by circulating potion of exhaust gas return into the combustion chamber. EGR system is often known by the name the hot EGR where exhaust gas circulation process without cooling system. This new Hot EGR system is designed by the addition of cooling system with air-cooled type. So that the circulating of exhaust gas to be cooled in advance in such that the mass of air increases. This research aims to study the performance and a reduction in NO_x of diesel engine with EGR using addition of cold EGR spiral tube. The experiments were used on diesel engine Yanmar TF 85-MHDI. The result show for the performance of the SFOC able to be fixed at 10% cold EGR spiral tube conditions EGR with a decrease of 2.3% and the results No_x on 10% cold EGR spiral tube system is able to be in threshold in the TIER 2 decrease in 4,4 g/kWh.

Keywords : *Exhaust Gas Recirculation (EGR), cold EGR spiral tube, perform of engine, No_x.*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah Swt Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang selalu memberikan petunjuk. Tidak lupa diucapkan sholawat serta salam kepada Nabi besar Muhammad SAW. Karena berkat rahmat dan hidayahNya kepada kita semua, skripsi dengan judul “STUDI ANALISIS PERFORMA, DAN NO_x PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN *COLD EGR SPIRAL TUBE* BERBASIS EKSPERIMEN” dapat diselesaikan dengan baik dalam rangka memenuhi syarat pada Mata Kuliah Skripsi (ME141501) Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Prof. Semin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala dan Sekretaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
2. Bapak Prof. Semin, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen wali sekaligus dosen Pembimbing yang terus memotivasi dan memberikan masukan kepada penulis selama melaksanakan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Keluarga, beserta mas Arief Bama yang senantiasa memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis.
4. Segenap civitas akademika yang telah menyampaikan ilmu dan berbagai pengalaman selama penulis melaksanakan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
5. Keluarga Barakuda '13 yang selalu menemani dan memberikan semangat dalam menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
6. M. Khaqqul Yaqin, Aditya Pradana, Adesthian Naufal, Ahmad Yusuf yang selalu memberikan support dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Seluruh teknisi dan member Laboratorium Marine Elec Power Plant (MPP) yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, maka diharapkan ada kritik dan saran yang bersifat membangun demi penelitian terkait di waktu mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat Penulisan.....	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB III	7
METODOLOGI PENELITIAN.....	7
3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah	8
3.2 Studi Literatur	8
3.3 Proses Desain dan Manufaktur sistem EGR yang dioptimalkan dengan EGR Spiral Tube.....	8
3.3.1 Perhitungan pressure drop cold EGR spiral tube	9
3.1 Alat dan bahan dalam proses pembuatan EGR Spiral Tube:	9
3.3 Proses Manufaktur sistem EGR spiral tube yang dipasang pada motor diesel	14
3.4 Engine Set Up	14
3.5 Uji Eksperimen	16
3.6 Pengumpulan Data	16

3.7 Analisa & Pembahasan	16
BAB IV	17
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Hasil Data Performa.....	17
4.2 Hasil Pengambilan Uji Emisi NOx pada motor diesel menggunakan hot dan cold EGR spiral tube	25
4.3 Pembahasan.....	28
BAB V	31
KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35
Lampiran 1. Hasil data performa	35
Lampiran 2. Hasil data NOx	43
BIODATA PENULIS	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Exhaust gas recirculating (EGR).....	3
Gambar 2.2.	Grafik penurunan kandungan NOx sesuai variasi bukaan katup. ..	4
Gambar 2.3.	Exhaust gas recirculating (EGR) yang dilengkapi dengan pendinginan air.	5
Gambar 2.4.	Grafik perbandingan antara bahan bakar jatropa dengan solar pada bukaan katup 25%.	5
Gambar 2.5.	Grafik perbandingan antara penggunaan hot dan cold EGR pada variasi bukaan katup.	6
Gambar 3.1.	Metodologi Penelitian.....	7
Gambar 3.2.	Desain dan manufaktur sistem EGR Spiral Tube	8
Gambar 3.3.	Port intake manifold.....	9
Gambar 3.4.	Port exhaust manifold	10
Gambar 3.5.	Angle globe valve	10
Gambar 3.6.	Design Manufaktur cold Spiral tube	11
Gambar 3.7.	Elbows.....	11
Gambar 3.8.	EGR Hoses.....	11
Gambar 3.9.	Clamp EGR.....	12
Gambar 3.10.	Multimeter.....	12
Gambar 3.11.	Tang Amper	12
Gambar 3.12.	Tachometer Digital	13
Gambar 3.13.	Stopwatch.....	13
Gambar 3.14.	Beban Lampu	13
Gambar 3.15.	Manufaktur sistem EGR spiral tube yang dipasang pada motor diesel	14
Gambar 3.16.	Engine set-up yang dirangkai sebagai alat uji.....	14

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1.	MARPOL Annex VI, batas kandungan NOx.....	6
Grafik 4.1.	Performansi SFOC dengan power 0% EGR.	17
Grafik 4.2.	Performansi SFOC dengan power 10% hot EGR menggunakan angle globe valve	18
Grafik 4.3.	Performansi SFOC dengan power 20% hot EGR menggunakan angle globe valve	19
Grafik 4.4.	Performansi SFOC dengan power 30% hot EGR menggunakan angle globe valve	19
Grafik 4.5.	Performansi SFOC menggunakan 10% EGR Spiral tube.	20
Grafik 4.6.	Performansi SFOC menggunakan 20% EGR Spiral tube	21
Grafik 4.7.	Performansi SFOC menggunakan 30% EGR Spiral tube	21
Grafik 4.8.	Performansi power vs RPM pada variasi % EGR menggunakan Hot dan Cold EGR spiral tube	22
Grafik 4.9.	Performansi torsi vs RPM pada variasi % EGR menggunakan Hot dan Cold EGR spiral tube	23
Grafik 4.10.	Performansi BMEP vs RPM pada variasi % EGR menggunakan Hot dan Cold EGR spiral tube	24
Grafik 4.11.	Diagram batang presentase NOx pada kondisi 100% RPM dan variasi beban	25

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Tabel Data 0% EGR menggunakan bahan bakar pertamina dex .	36
Tabel 2. dex	Tabel Data 10% Hot EGR menggunakan bahan bakar pertamina	37
Tabel 3. dex	Tabel Data 20% Hot EGR menggunakan bahan bakar pertamina	38
Tabel 4. dex	Tabel Data 30% Hot EGR menggunakan bahan bakar pertamina	39
Tabel 5. pertamina dex	Tabel Data 10% Cold EGR spiral tube menggunakan bahan bakar	40
Tabel 6. pertamina dex	Tabel Data 20% Cold EGR spiral tube menggunakan bahan bakar	41
Tabel 7. pertamina dex	Tabel Data 30% Cold EGR spiral tube menggunakan bahan bakar	42
Tabel 8.	Hasil pengujian Kandungan Nox cold EGR spiral tube.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia saat ini sedang mempunyai permasalahan yang sama dalam hal pengurangan gas emisi. Beberapa sumber gas emisi yang paling bermasalah di diantaranya SO_x, NO_x, CO, dan HC. Sumber gas emisi tersebut sangat membahayakan bagi kesehatan manusia, lingkungan, dan tumbuh-tumbuhan. banyak penelitian – penelitian yang telah, maupun sedang dilakukan untuk mengatasi permasalahan emisi tersebut. (Nursuhud dkk, 2006)

Telah banyak teknologi untuk menurunkan gas buang emisi. Beberapa teknologi yang sudah pernah di ciptakan untuk mengurangi emisi adalah Exhaust gas recirculation (EGR), Amonia Scrubber, Direct Water Injection (DWI), Diesel Particulate Filter (DPF).

EGR merupakan sebuah sistem yang paling sederhana yang digunakan untuk penurunan emisi NO_x dibandingkan dengan sistem – sistem lain. Metode yang digunakan dalam sistem EGR dengan mensirkulasikan kembali gas buang kembali ke dalam ruang bakar. Tetapi didalam penggunaan sistem EGR memiliki dampak negatif dengan kenaikan konsumsi bahan bakar, menurunkan performa engine, dan menaikkan emisi Particulate Matter (PM). (Hountalas DKK,2008).

Dewasa ini modifikasi sistem EGR sudah sangat beragam. Beberapa faktor yang pernah dilakukan dengan cara, pertama mengurangi beban temperatur input, memperlambat proses pembakaran, dan menambah campuran homogenitas kabut bahan bakar dan oksigen. Cara yang kedua dengan menangkap lebih banyak massa udara ke dalam cylinder. Dan cara yang ketiga adalah dengan desain manufaktur Cold EGR. (P.Saichaitanya,2013). Dari ketiga cara tersebut, cara yang paling sederhana untuk memodifikasi sistem EGR adalah dengan melakukan design manufaktur Cold EGR.

Dari hasil simulasi penelitian yang sudah dilakukan oleh Nasser (2016), dijelaskan bahwa pipa spiral saat digunakan pada saluran EGR dapat mengurangi pressure drop, dan heat transfer yang membuat peningkatan massa oksigen yang akan dikembalikan kembali ke dalam ruang pembakaran sebesar 10%.

Pada penelitian ini membahas analisis berbasis eksperimen desain manufaktur Cold EGR dengan menggunakan saluran spiral tube sebagai penghubung gas buang dari exhaust manifold ke intake manifold. Dan dilakukan pendinginan udara secara alami melalui ven – ven yang menempel pada pipa spiralnya. Sehingga di dapatkan pendinginan secara maksimal untuk mengurangi emisi NO_x, mengurangi kenaikan konsumsi bahan bakar, dan dapat menurunkan emisi PM. Untuk ini akan dilakukan analisa hasil dari performa motor, dan kadar NO_x yang terkandung di dalam motor pada saat ditambahkan sistem Cold EGR spiral tube.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang di bahas pada skripsi ini adalah:

- a. Bagaimana performa motor setelah ditambahkan sistem EGR dengan desain manufaktur sistem cold EGR spiral tube?
- b. Berapa kandungan NOx pada motor setelah ditambahkan sistem EGR dengan desain manufaktur sistem cold EGR spiral tube?

1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Penggunaan *cooler* EGR pada penelitian ini menggunakan pendinginan udara.
- b. Analisa performa dan penurunan kadar NOx ini menggunakan motor diesel Yanmar TF85 MH-di yang berada di laboratorium Marine Power Plant Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
- c. Penggunaan *valve* pada percobaan penelitian ini menggunakan jenis *Angle Globe valve*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari usulan skripsi ini adalah:

- a. Untuk mengetahui performa motor saat menggunakan sistem EGR dengan desain manufaktur sistem cold EGR spiral tube.
- b. Untuk mengetahui penurunan kandungan NOx pada motor saat menggunakan sistem EGR dengan desain manufaktur sistem cold EGR spiral tube.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat yang diperoleh dari skripsi ini adalah:

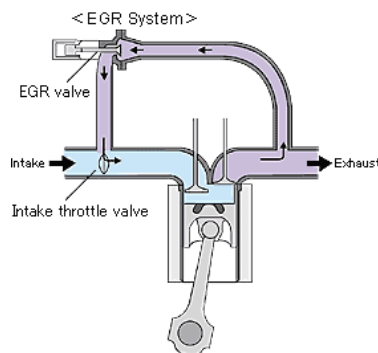
- a. Membantu Indonesia dalam program pengurangan emisi gas buang pada motor diesel, khususnya sistem EGR dengan desain manufaktur sistem cold EGR spiral tube.
- b. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh pada performa serta perubahannya di dalam motor saat di tambahkan sistem EGR dengan desain manufaktur sistem saluran spiral tube.
- c. Memberikan pengetahuan tentang desain manufaktur cold EGR menggunakan sistem cold EGR spiral tube.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Motor diesel memiliki hasil pembakaran yang didalamnya terdapat kandungan emisi NO_x yang tidak mudah terurai di udara bebas. Sehingga dari hasil pembakaran motor diesel dapat menyebabkan dampak yang buruk pada makhluk hidup di sekitarnya. pada berkembangnya zaman dewasa ini hasil gas buang dari motor diesel dapat dimanfaatkan kembali. para peneliti melakukan beberapa eksperimen dengan mencoba berbagai cara agar kandungan emisi NO_x yang dihasilkan motor diesel dapat menurun. (Nursuhud dan Pudjanarsa, 2006)

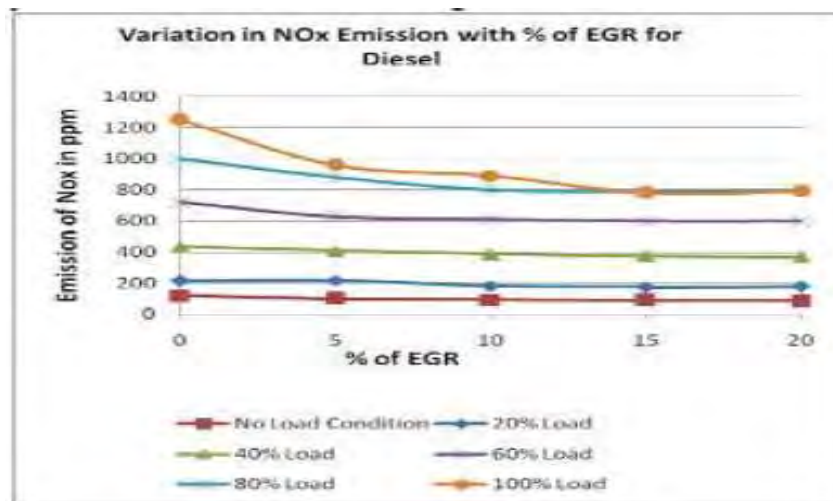
Salah satu dari penelitian adalah penggunaan sistem *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). Sistem sederhana ini bekerja dengan cara mensirkulasikan kembali sebagian dari gas buang agar dapat digunakan lagi. Gas buang yang dimanfaatkan kembali oleh sistem *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) itu sendiri memanfaatkan gas buang sekitar 10% - 30%. Lalu dimasukkan kembali kedalam ke *inlet manifold* dimana, masuknya gas buang diatur oleh EGR valve untuk membuka dan menutupnya saluran EGR. (Sorathia dan Rahhod, 2012). Agar lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Exhaust gas recirculating (EGR).

Didalam manifold terjadinya pertemuan antara udara segar dan udara bekas hasil pembakaran yang sekiranya sebanyak 20% dan pada umumnya dapat mengurangi kandungan NO_x sebesar 34%. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 2.2. (Sorathia dan Rahhod, 2012)

Dapat disimpulkan bahwa EGR mengurangi emisi NO_x, karena terdapat muatan air pada udara masukan. Sehingga menurunkan suhu pembakaran. Suhu pembakaran yang rendah menyebabkan pembentukan jelaga yang meningkat. Sehingga pemakaian EGR membentuk *trade-off* antara penurunan emisi NO_x dan peningkatan emisi jelaga, CO dan HC. Telah diklasifikasikan sistem EGR yang digunakan pada saat ini sebagian besar masih tergolong *hot EGR*. (Rajan dan Kumar, 2009).



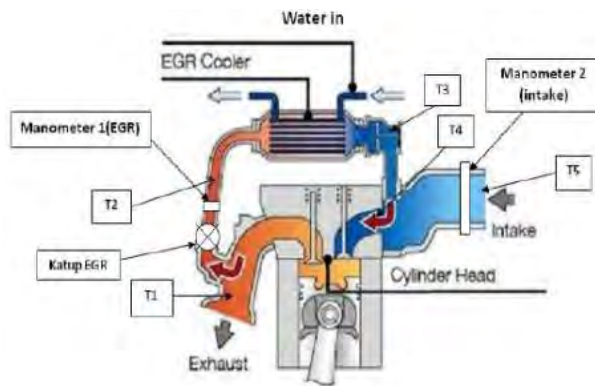
Gambar 2.2. Grafik penurunan kandungan NOx sesuai variasi bukaan katup.

Definisi *hot EGR* ialah merupakan suatu metode yang digunakan untuk mensirkulasikan gas buang tanpa mendinginkan gas buang, sehingga menyebabkan peningkatan suhu udara masukan. Teknologi dari *hot EGR* ini memang dapat menurunkan kandungan emisi NOx dari sisa pembakaran motor diesel. Tetapi masih banyak kekurangan yang dihasilkan oleh *hot EGR* tersebut. (Legowo,2011).

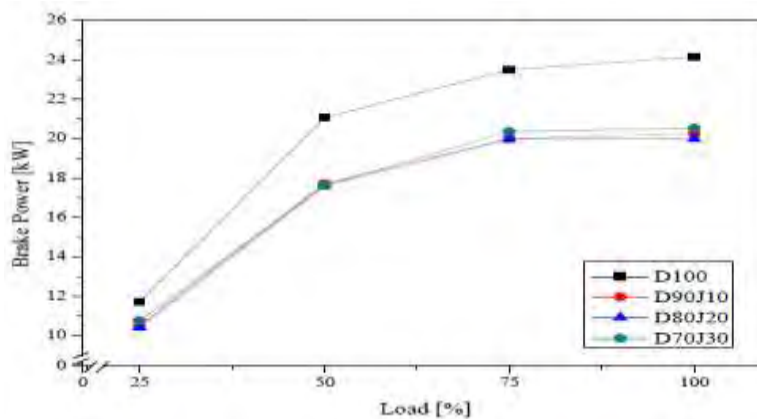
Sebagai contoh jumlah masa udara yang masuk masih sedikit, kepadatan udara berkurang karena tidak ada pendinginan, suhu panas diintake manifold masih tinggi, dan performa engine menurun. Dari segi proses pembakaran dimana setelah diamati ketika penggunaan sistem EGR maka proses pembakaran, heat release, dan ignition delay menjadi lebih panjang. Oleh karena itu peneliti tidak hanya berkembang sebatas itu aja mereka harus dapat mengoptimalkan kinerja dari EGR agar jauh lebih baik. (Legowo,2011)

Adanya peraturan yang semakin diperketat maka perlu ide baru agar dapat memenuhi aturan regulasi. Pada kesempatan ini sistem EGR akan ditambahkan cooling system (cold EGR). Cooling system dari cold EGR ini dirancang dengan menggunakan alat penukar kalor. Avinash dkk., (2004) telah membuat cold EGR dengan menggunakan pendinginan air.

Menurut Darmana,(2013) setelah dilakukan uji cold EGR dengan berpendinginan air dengan menggunakan bahan bakar jatropa dan bahan bakar solar bahwa power yang dihasilkan akan lebih baik dengan menggunakan solar. Untuk pembukaan katup yang digunakan pada uji coba ini digunakan sebesar 25% diikuti dengan variasi beban pada motor. Pada gambar 2.3 ditunjukkan sistem EGR yang dilengkapi dengan cooling system berpendinginan air (cold EGR). Penunjukan hasil uji coba sistem cold EGR dengan bahan bakar jatropa dan bahan bakar solar ditunjukkan pada gambar 2.4.(Darmana,2013).

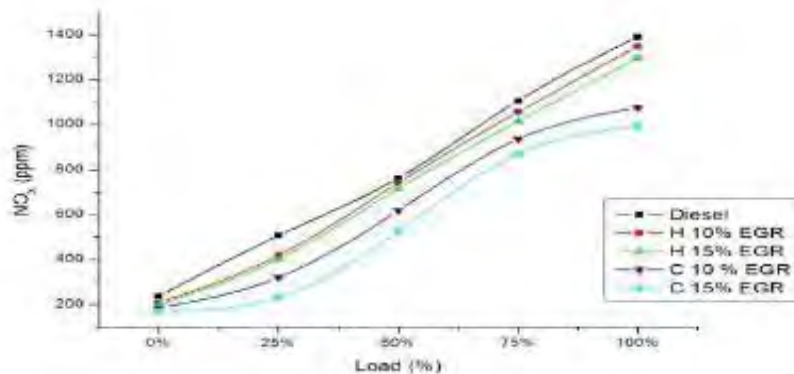


Gambar 2.3. Exhaust gas recirculating (EGR) yang dilengkapi dengan pendinginan air.



Gambar 2.4. Grafik perbandingan antara bahan bakar jatropha dengan solar pada bukaan katup 25%.

Saichaitanya dan Vamsidurgamohan,(2013) membahas mengenai dampak dari penggunaan hot dan cold EGR pada mesin diesel. Penggunaan bukaan katup pada penelitian ini sebesar 10 – 15% pada hot dan cold EGR. Dijelaskan pada journal bahwa penggunaan hot EGR meningkatkan efisiensi thermal dan dapat mereduksi kandungan Nox hingga 8% pada bukaan katup 15% pada kondisi engine full load. Tetapi dengan penambahan cooler pada sistem EGR ini menghasilkan dampak yang lebih baik dibandingkan dengan hot EGR dimana media pendinginan yang digunakan yaitu air. Sehingga dapat mereduksi kandungan NOx hingga 28% pada bukaan katup 15% pada kondisi engine yang sama. Dengan demikian penggunaan cold EGR memang lebih efektif dibandingkan dengan hot EGR. Penunjukan penurunan kandungan NOX dapat dilihat pada gambar 2.5.(Saichaitanya dan Vamsidurgamohan,2013).



Gambar 2.5. Grafik perbandingan antara penggunaan hot dan cold EGR pada variasi bukaan katup.

Diharapkan dengan menggunakan pendinginan udara hasil dari sistem EGR lebih baik. Sehingga keuntungan dari pemakaian EGR dapat bertambah meliputi jumlah dari udara yang masuk lebih banyak, kepadatan udara akan lebih baik dibandingkan dengan yang tidak menggunakan sistem cold EGR. Prosentase suhu panas pada intake manifold juga berkurang karena sebelumnya gas buang sudah disirkulasikan didalam sistem cold EGR spiral tube. Harapan terakhir emisi dari pada kandungan NOx akan jauh lebih baik dalam proses pereduksian setelah dilakukannya pengoptimalan dengan sistem cold EGR spiral tube. Dari penelitian ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah ialah berbasis eksperimen. Eksperimen yang saya lakukan ini akan di bagi menjadi dua bagian untuk meninjau hasil setelah eksperimen. dua bagian eksperimen itu meliputi pengetesan performa motor diesel, dan penurunan kandungan emisi NOx.

Terhadap permasalahan gas buang yang dihasilkan oleh motor diesel menyangkut tentang kadar kandungan emisi yang diizinkan dibuang diudara bebas telah ditentukan oleh peraturan pemerintah. Dijelaskan pada peraturan pemerintah no 29 tahun 2014 dinyatakan pada pasal 30 bahwa regulasi emisi gas buang yang diizinkan mengacu pada IMO MARPOL ANNEX VI regulasi 13 dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar dibawah ini 2.7. (PM No 29 tahun 2014).

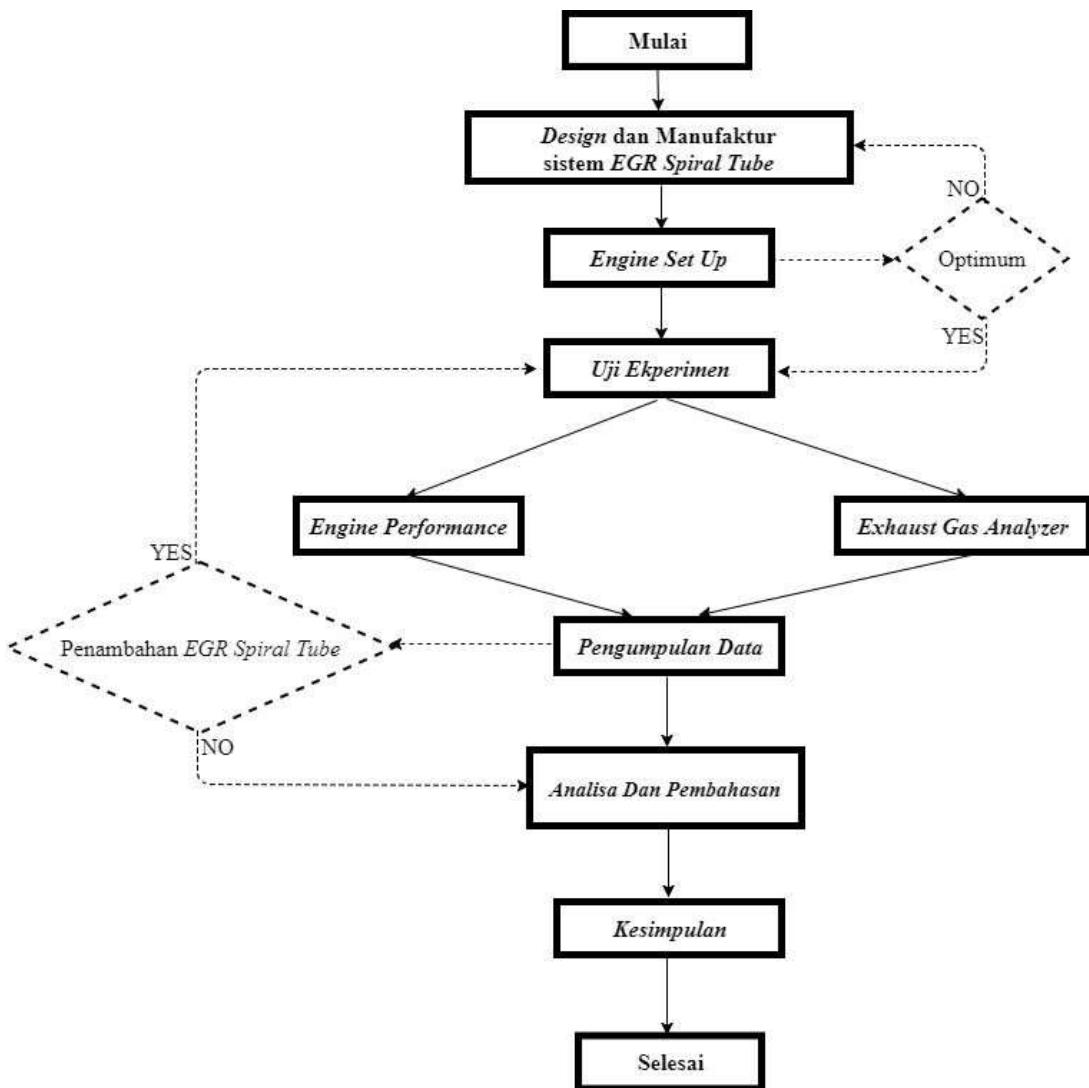
Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

Grafik 2.1. MARPOL Annex VI, batas kandungan NOx

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan metode eksperimen. Eksperimen terbagi menjadi 2 sub bagian yaitu performa, dan emisi. Untuk menguji kinerja dari pada motor diesel maka kita sebelumnya harus melakukan engine set up terhadap motor diesel yang akan dilakukan dengan menggunakan alat test bed, dan exhaust emission analyzer. Detail eksperimen dapat dilihat pada diagram alir 3.1



Gambar 3.1. Metodologi Penelitian

- **Keterangan :**

3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah

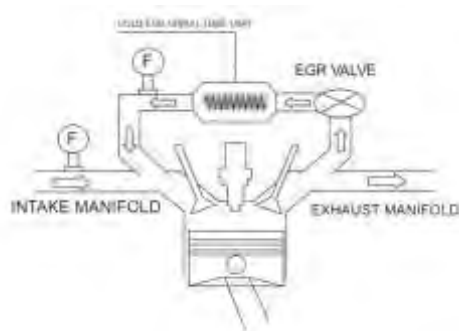
Pengidentifikasian masalah pada proses pengoptimalan sistem EGR yang dioptimalkan dengan sistem cold EGR spiral tube dengan sistem pendinginannya berupa udara. Dimana akan ditinjau berdasarkan performa dari motor diesel tersebut, dan melihat karakteristik terhadap penurunan kadar NOx yang dihasilkan oleh motor diesel.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan acuan yang dimanfaatkan untuk mempelajari teori-teori yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang terkait pada penelitian ini. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, dimana studi literatur tersebut mengacu pada penggunaan sistem EGR yang dioptimalkan dengan EGR *cooler* spiral Tube yang dimana pendinginannya berupa udara. Lalu untuk mengetahui performa motor, dan penurunan kadar NOx maka kita harus melakukan pengambilan data melalui uji coba terhadap motor diesel yang telah dilengkapi dengan sistem EGR yang dioptimalkan dengan sistem cold EGR spiral tube tersebut.

3.3 Proses Desain dan Manufaktur sistem EGR yang dioptimalkan dengan EGR Spiral Tube.

Pada tahap ini dilakukan proses pendesainan sistem EGR yang dioptimalkan dengan sistem cold EGR Spiral tube yang akan dipasang pada mesin **Yanmar TF85-MHDI**. Dimana jenis dari pendinginan EGR *cooler* ini berupa udara yang akan mendinginkan suhu udara panas melalui sirkulasi yang terdapat pada cold EGR spiral tube. Penggunaan EGR *valve* dalam proses pemasukan gas buang kedalam inlet manifold ini menggunakan jenis *angle globe valve*. Diharapkan dengan pengoptimalan menggunakan cold EGR spiral tube ini suhu udara yang akan disuplai kembali kedalam *intake manifold* mengalami penurunan suhu dan jumlah udara yang disuplai lebih banyak. Juga kepadatan dari udara meningkat sehingga meningkatkan massa udara yang akan disalurkan kembali



Gambar 3.2. Desain dan manufaktur sistem cold EGR Spiral Tube

3.3.1 Perhitungan pressure drop cold EGR spiral tube

Sebelum dilakukan set-up engine. Dibutuhkan perhitungan pressure drop terlebih dahulu untuk mengetahui penurunan tekanan yang terjadi saat melewati sistem EGR Spiral tube. Dalam perhitungan pressure drop ini menggunakan persamaan kontinuitas yang diperoleh dari hukum kelestarian massa, dimana diameter dari exhaust manifold sebesar 32 mm dengan kecepatan aliran sebesar 7.89 m/s akan diperkecil pada saluran EGR spiral tube dengan diameter 8 mm maka kecepatan aliran nya menjadi 31.6 m/s.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$
$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

dimana :

ρ = massa jenis fluida
 A = luas penampang
 V = kecepatan aliran fluida

Pada tahap manufaktur ini dibutuhkan beberapa bahan pendukung yang digunakan untuk menunjang pembuatan sistem *cold* EGR spiral tube yang akan dipasang pada motor diesel. Manufaktur ini dilakukan melalui beberapa tahapan seperti modifikasi intake dan exhaust manifold pada motor diesel sesuai dengan data yang dibutuhkan untuk mendapatkan variabel maksimum 30% dari sistem *cold* EGR spiral tube. Pembuatan valve dan modifikasi *cooler* juga dilakukan pada tahap manufaktur ini agar sistem EGR yang dipasang pada motor diesel dapat bekerja maksimal. Oleh karena itu pada tahap manufaktur ini ada beberapa alat dan bahan yang akan dijelaskan dibawah ini dan juga alat yang dibutuhkan sebagai pengambilan data untuk penelitian yaitu sebagai berikut :

3.1 Alat dan bahan dalam proses pembuatan EGR Spiral Tube:

1. *Intake manifold* dengan port pada sistem *cold* EGR spiral tube.



Gambar 3.3. Port intake manifold

Fungsi : Pada gambar diatas dijelaskan bahwa intake manifold yang memiliki diameter 34.25 mm dilubangi sebagai saluran masuk untuk sistem cold EGR spiral tube yang akan diteruskan hingga keruang bakar.

2. Exhaust manifold dengan port pada sistem *cold* EGR spiral tube



Gambar 3.4. Port exhaust manifold

Fungsi : Pada gambar diatas dibuat jalur percabangan pada exhaust manifold yang memiliki diamter 32 mm sebagai jalur dari gas buang yang akan digunakan kembali dan akan diteruskan melalui pipa EGR menuju intake manifold.

3. *Angle globe valve* yang digunakan pada sistem *cold* EGR spiral tube.



Gambar 3.5. Angle globe valve

Fungsi : Pada gambar diatas angle globe valve dibuat oleh peneliti sebelumnya dalam membangun sistem EGR. Angle Glove Valve dibuat bertujuan agar mendapatkan hasil yang lebih baik ketika mengatur debit udara dari gas buang yang akan disirkulasikan kembali. Valve ini dibuat berdasarkan dari beberapa data yang digunakan dalam penelitian ini dengan spesifikasi saluran in dan out yang ditunjukkan pada panah berdiameter 1 inch atau 25.4 mm. Sesuai dengan selang pada EGR yang dipilih sebagai penghubung satu sama lain sehingga gas buang dapat dialirkan kembali kedalam ruang bakar.

4. EGR Spiral Tube yang akan digunakan sebagai pendingin udara pada aliran gas buang.



Gambar 3.6. Design Manufaktur cold Spiral tube

Fungsi : pada gambar di atas dilakukan dengan cara membuat pipa tembaga kuningan dan di bentuk secara spiral dan di dalamnya diberikan vin untuk pendinginan alami udara dari luar. Dilakukan dengan model spiral tube dengan tujuan dapat memberikan massa udara yang lebih banyak akibat dari proses pendinginan udara yang lebih baik Dan tidak menurunkan SFOC dikarenakan pressure drop lebih tinggi menggunakan sistem cold EGR spiral tube.

5. Elbow



Gambar 3.7. Elbows

Fungsi : Pada gambar diatas elbow digunakan untuk merubah arah aliran dari gas buang sebesar 90 derajat untuk diteruskan hingga masuk kembali kedalam ruang bakar dan bercampur dengan udara segar.

6. Hot dan cold EGR Hoses



Gambar 3.8. EGR Hoses

Fungsi : Fungsi : Pada gambar diatas selang berwarna hitam tersebut digunakan untuk menghubungkan arah aliran EGR dari exhaust manifold hingga ke intake manifold. Selang tersebut dibeli dengan spesifikasi harus tahan terhadap tekanan dan temperatur yang tinggi agar tidak mudah leleh. Selang EGR tersebut memiliki diameter 1 inch atau 25.4 mm dipilih ukuran tersebut agar dapat memberikan presentase EGR dengan maksimal.

7. *Clamp* pada EGR



Gambar 3.9. Clamp EGR

Fungsi : pada gambar diatas clamp digunakan sebagai perapat selang dengan selang pada sistem cold EGR spiral tube agar tidak terjadi kebocoran pada saluran EGR pada saat running.

3.2 Alat dan bahan untuk pengambilan data pada sistem *cold* EGR Spiral tube

1. Multimeter



Gambar 3.10. Multimeter

Fungsi : pada gambar diatas multimeter digunakan untuk membaca tegangan pada saat uji performa yang dihasilkan ketika engine diberi beban lampu.

2. Tang Ampere



Gambar 3.11. Tang Amper

Fungsi : pada gambar diatas tang ampere digunakan untuk mengukur arus pada saat uji performa yang dihasilkan ketika engine diberi beban lampu.

3. Tachometer Digital



Gambar 3.12. Tachometer Digital

Fungsi : pada gambar diatas tachometer digital digunakan untuk mengatur RPM engine pada saat uji performa.

4. Stopwatch



Gambar 3.13. Stopwatch

Fungsi : pada gambar diatas stopwatch digunakan untuk menghitung SFOC pada saat melakukan uji performa engine.

5. Beban lampu



Gambar 3.14. Beban Lampu

Fungsi : pada gambar diatas beban lampu digunakan untuk pembebanan pada motor diesel saat melakukan uji performa atau pengambilan data

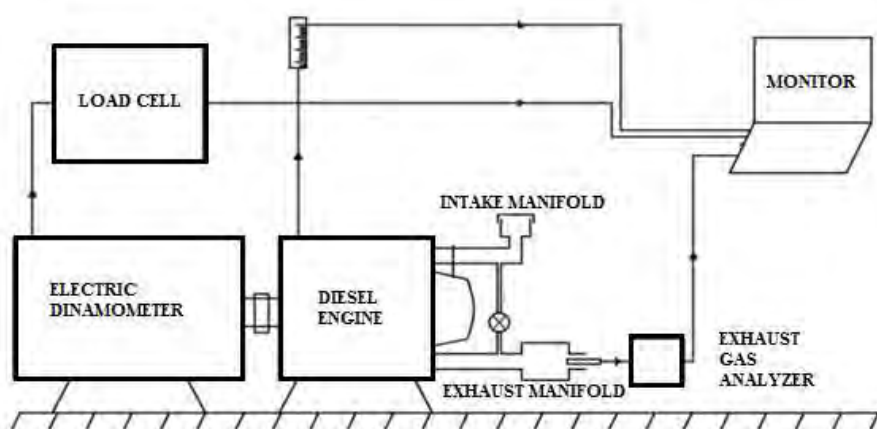
3.3 Proses Manufaktur sistem EGR spiral tube yang dipasang pada motor diesel

pada gambar dibawah ini akan dijelaskan bahwa proses manufaktur yang telah dilakukan melalui berbagai tahap pada gambar telah selesai dirakit pada motor diesel yanmar **TF MH 85-di**. Setelah terpasang dengan baik, maka diperlukan engine set-up untuk memenuhi presentasi dari motor diesel saat dilakukan uji coba dengan menggunakan sistem EGR Spiral tube dan akan dibandingkan dengan sistem pendinginan EGR tanpa menggunakan pendinginan sistem cold EGR spiral tube.



Gambar 3.15. Manufaktur sistem EGR spiral tube yang dipasang pada motor diesel

3.4 Engine Set Up



Gambar 3.16. Engine set-up yang dirangkai sebagai alat uji

Pada tahap ini dilakukan proses setting pada motor diesel, komponen Cold EGR Spiral Tube dan peralatan-peralatan untuk proses pengujian. Untuk itu harus dilakukan pengecekan awal mengenai kondisi motor diesel untuk mengetahui kondisi awal sebelum dilakukan penelitian terhadap motor diesel yang akan digunakan untuk mengambil data. Setelah itu, motor diesel dihubungkan dengan dynamometer sebagai alat uji performa. Output dynamometer dihubungkan pada lampu dengan variasi pembebanan 0 sampai 5000 watt. Untuk mengetahui SFOC pada masing masing pembebanan digunakan alat Buret untuk melakukan pengukuran. Dan untuk mendapatkan kadar Emisi NOx nya dilakukan pengujian dengan menggunakan alat yaitu Exhaust Gas Analyzer.

Pada saat penentuan Engine set-up juga dilakukan penentuan variable dalam pengambilan data. Variable yang digunakan dalam pengambilan data ialah sebagai berikut:

a) Variable EGR Cooler

- Cooler yang digunakan adalah udara

b) Variable EGR valve

- Valve jenis Angle Globe Valve

c) Variable saluran EGR

- saluran sistem EGR spiral Tube

d) Uji Performa

- Variable tetap = 1. Bahan bakar pertamina dex
2. Sistem cold EGR spiral tube
3. RPM

- Variabel Bebas = 1. Beban motor (berubah-ubah)
2. % EGR valve open

e) Uji emisi

- Variabel Tetap = 1. Bahan bakar pertamina dex
2. Sistem EGR spiral tube
3. RPM dan Beban Motor (mengikuti aturan regulasi IMO Annex VI)

- Variabel Bebas = 1. % EGR valve open

f) Variabel Hasil

- Performa dari motor diesel
- Data penurunan kadar NOx

3.5 Uji Eksperimen

Tahap ini dilakukan setelah semua proses engine set up selesai dikerjakan. Dilakukan penambahan sistem Cold EGR spiral tube pada motor diesel. Tujuan dilakukan pengujian yaitu untuk mengetahui antara lain:

1. Engine Performa yang didalamnya dilakukan uji prestasi motor yang didalamnya akan diketahui daya, torsi, SFOC dan BMEP
2. Kadar NOx yang didalamnya akan diketahui penurunan jumlah NOx pada gas buang setelah pemasangan Cold EGR Spiral Tube.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari hasil eksperimen yang sudah dilakukan, dari tahap pra eksperimen hingga tahap eksperimen. hasil yang diperoleh merupakan data perbandingan performa motor, dan data kadar NOx pada penggunaan EGR spiral tube pada motor diesel.

3.7 Analisa & Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah perbandingan hasil performa motor, dan penurunan kadar NOx motor diesel tanpa menggunakan EGR Spiral tube, motor diesel menggunakan EGR Spiral tube pada motor diesel.

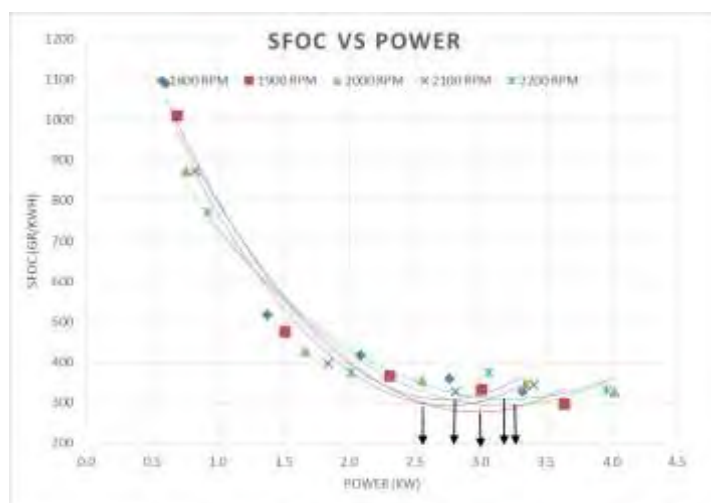
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini menjelaskan mengenai analisa data performa dan pengujian hasil NO_x pada motor diesel dengan menggunakan sistem cold EGR spiral tube. Sistem EGR yang dirancang pada penelitian ini menggunakan valve jenis *angle globe valve* dan menggunakan pendinginan udara. Setelah dilakukan penambahan EGR spiral tube, diharapkan motor mampu menurunkan suhu dari gas buang sebelum disirkulasikan kembali kedalam ruang bakar melalui *Intake Manifold*. Jika manufaktur telah selesai dan dipasang dengan baik pada motor diesel maka sistem cold EGR spiral tube ini akan dibandingkan dari segi performa dan NO_x dengan sistem hot EGR. Berharap dari eksperimen ini hasil EGR spiral tube jauh lebih baik dari pada sistem tanpa pendinginan (hot EGR).

4.1 Hasil Data Performa

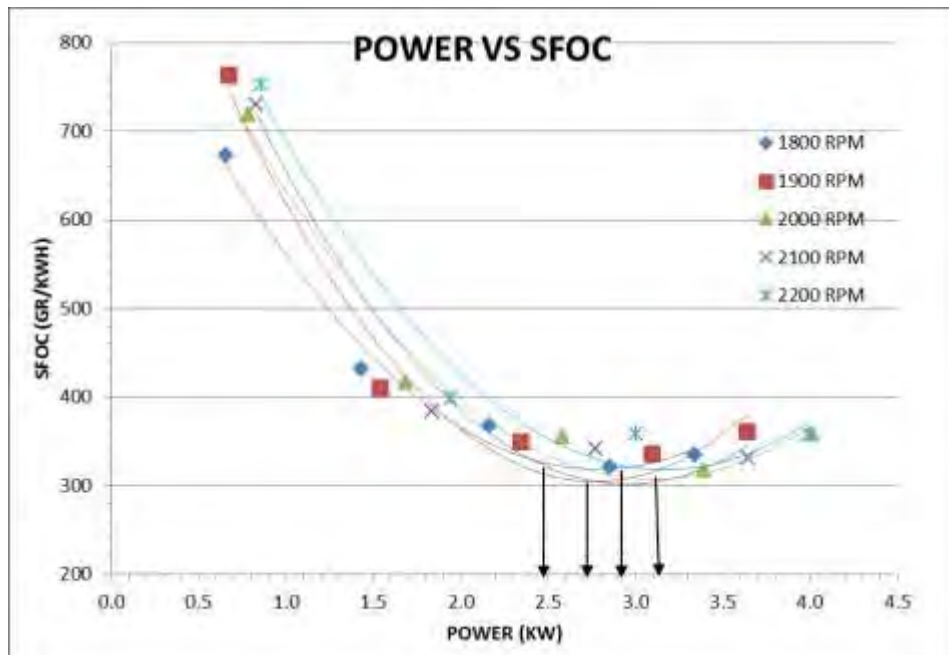
Setelah pengambilan data selesai maka data dapat di analisa dan diolah agar mendapatkan nilai dari power, torsi, SFOC, dan BMEP. Data performa diperoleh melalui proses eksperimen pada motor diesel yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sistem cold EGR Spiral tube dengan diatur mass flow ratenya pada variabel 0, 10, 20, 30% bukaan katup dengan menggunakan *angle Globe Valve*. Tahap awal untuk menentukan grafik dengan menentukan nilai dari SFOC terhadap power dengan membandingkan sitem hot EGR dengan cold EGR spiral tube, dengan melihat titik lembah terendah dari grafik SFOC terhadap pada masing-masing RPM. Sehingga dapat diketahui power motor diesel pada beban 100%. Pada penelitian kali ini variabel RPM ditentukan pada 1800,1900,2000,2100, dan 2200.

Keterangan Hasil Grafik hot dan cold EGR spiral tube:



Grafik 4.1. Performansi SFOC dengan power 0% EGR.

Pada grafik 4.1 menunjukkan lengkung lembah dari SFOC terhadap power menggunakan 0% EGR pada masing-masing RPM. Setelah itu didapatkan hasil setelah menarik garis kebawah dari titik lengkung terendah masing-masing RPM. Didapatkan RPM 1800 nilai SFOC sebesar 326.4 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari SFOC sebesar 298.0 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari SFOC sebesar 327.3 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari SFOC sebesar 317.8 (gr/kWh), dan RPM 2200 nilai dari SFOC sebesar 331.3 (gr/kWh) terdapat pada masing – masing beban 4000 watt. Titik lembah lengkung masing-masing RPM ini dapat dijadikan nilai power 100% untuk variable 0% EGR. Data digunakan untuk perbandingan dengan data hot dan cold EGR spiral tube.

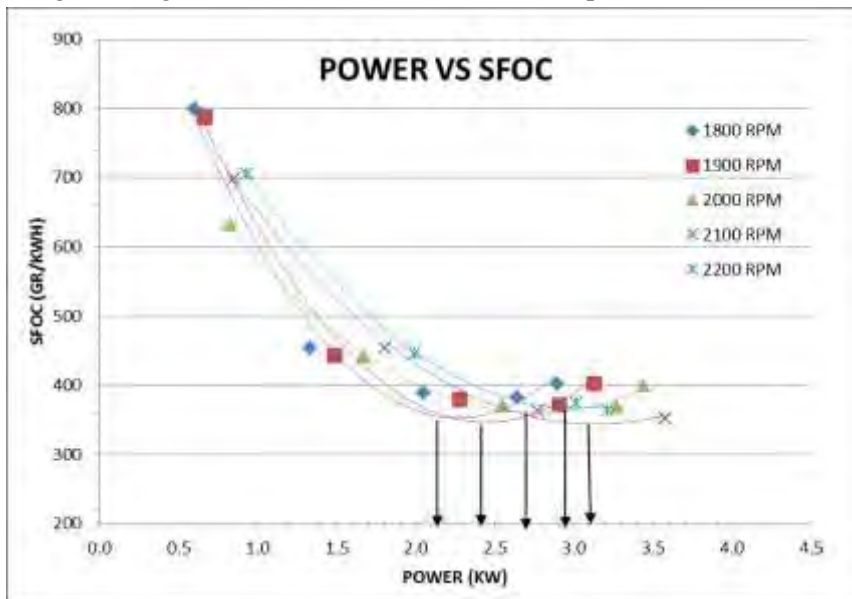


Grafik 4.2. Performansi SFOC dengan power 10% hot EGR menggunakan angle globe valve

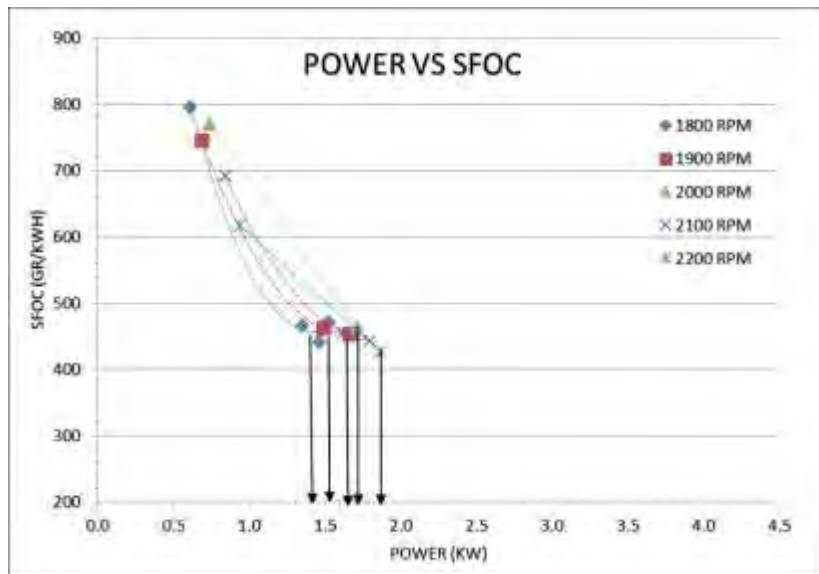
Pada grafik 4.2 menunjukkan bahwa pada bukaan katup 10% hot EGR pada beban 100% maksimum. SFOC dilihat pada grafik lengkung lembah SFOC terbawah. Didapatkan hasil setelah tarik garis ke bawah terdapat pada RPM 1800 nilai sfoc yang dihasilkan 321.5 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari sfoc 336.8 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari sfoc 318.4 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari sfoc 332.1 (gr/kWh) dan RPM 2200 nilai dari sfoc yang didapatkan 357.5 (gr/kWh) terdapat pada masing – masing beban 4000 watt. Sehingga nilai dari power, torsi, dan BMEP maksimum dapat diketahui dan dibandingkan dengan sistem hot EGR dan cold EGR spiral tube.

Pada grafik 4.3 menunjukkan bahwa pada bukaan katup 20% hot EGR pada beban 100% maksimum SFOC dilihat pada grafik lengkung lembah SFOC terbawah. Didapatkan hasil setelah tarik garis ke bawah terdapat pada RPM 1800 nilai dari sfoc

382.1 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari sfoc 371.4 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari sfoc 369.8 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari sfoc 352.3 (gr/kWh) dan RPM 2200 nilai sfoc yang dihasilkan 363.6 (gr/kWh) terdapat pada beban 4000 watt untuk RPM 1800s/d 2100 sedangkan untuk RPM 2200 hanya mampu dibebani sebesar 3200 watt. Sehingga nilai dari power, torsi, dan BMEP maksimum dapat diketahui dan dibandingkan dengan sistem hot EGR dan cold EGR spiral tube.

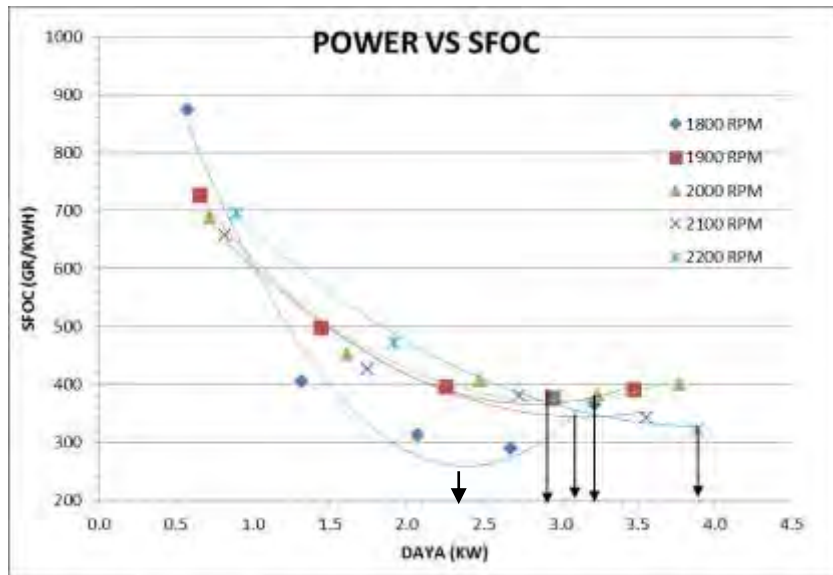


Grafik 4.3. Performansi SFOC dengan power 20% hot EGR menggunakan angle globe valve



Grafik 4.4. Performansi SFOC dengan power 30% hot EGR menggunakan angle globe valve

Pada grafik 4.4 dijelaskan bahwa pada bukaan katup 30% hot EGR pada beban 100% maksimum SFOC dilihat pada grafik lengkung lembah SFOC terbawah. Didapatkan hasil setelah tarik garis ke bawah terdapat pada RPM 1800 nilai dari sfoc 440.7 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari sfoc 454.1 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari sfoc 465.3 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari sfoc 443.7 dan RPM 2200 nilai dari sfoc yang dihasilkan 426.8 (gr/kWh) terdapat pada beban 2200 watt untuk RPM 1800 s/d 1900 sedangkan untuk RPM 2200 s/d 2100 dibebani sebesar 2000 watt dan untuk RPM 2200 hanya mampu bertahan pada beban 1800 watt.

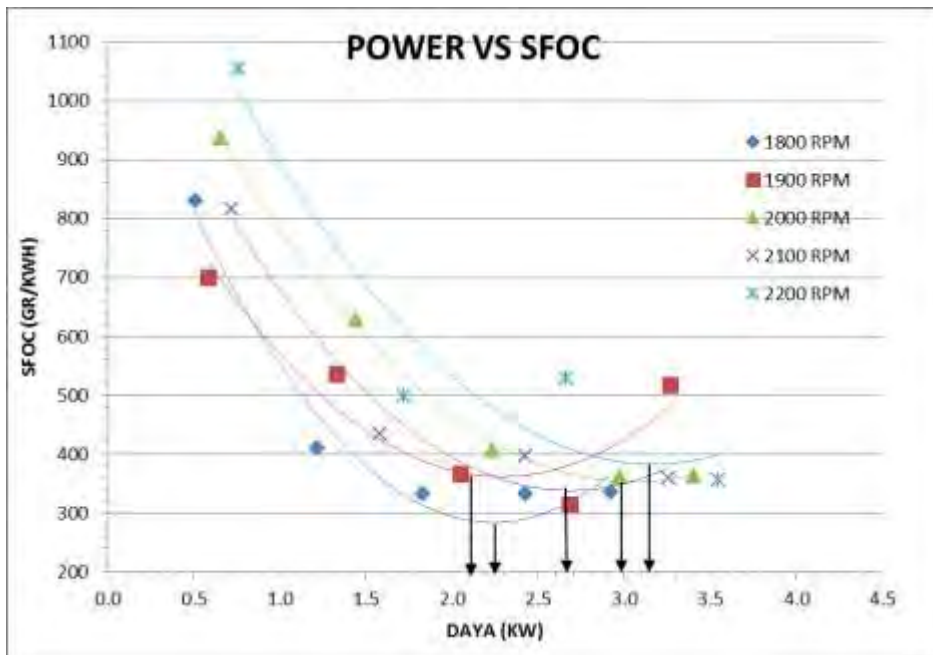


Grafik 4.5. Performansi SFOC menggunakan 10% EGR Spiral tube.

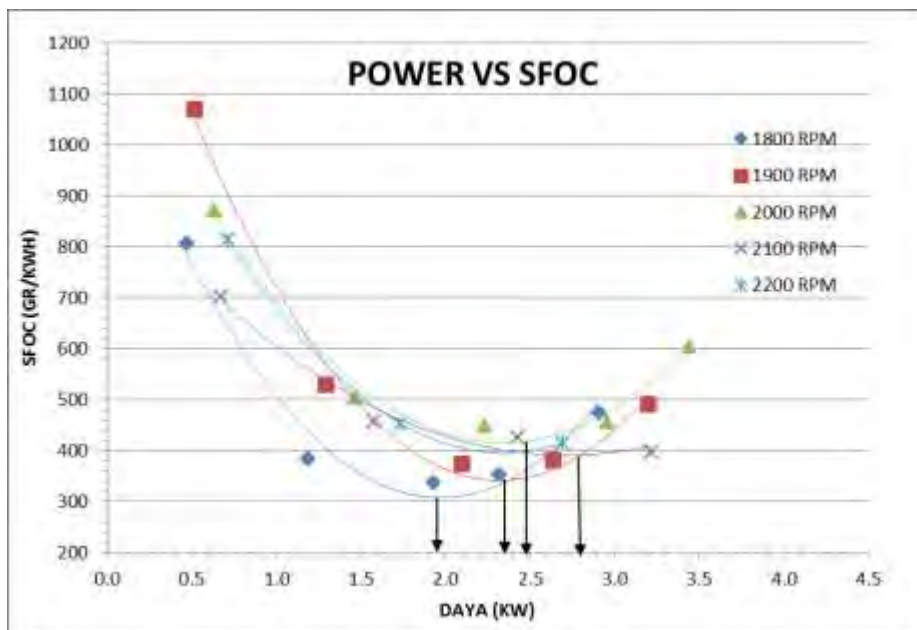
Pada grafik 4.5 menunjukkan lengkung lembah dari SFOC terhadap power ketika menggunakan 10% EGR spiral tube pada masing-masing RPM. Didapatkan hasil SFOC setelah menarik garis kebawah dari titik lengkung terendah masing-masing RPM. Didapatkan RPM 1800 nilai SFOC sebesar 291.1 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari SFOC sebesar 377.4 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari SFOC sebesar 382.5 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari SFOC sebesar 342.8 (gr/kWh), dan RPM 2200 nilai dari SFOC sebesar 321.5 (gr/kWh). Titik SFOC terendah pada eksperimen 10% EGR spiral tube berada pada RPM 1800 sebesar 291.1 (gr/kWh). Titik lembah lengkung pada masing-masing RPM ini dapat dijadikan nilai power 100% untuk variable 10% EGR Spiral tube.

Pada grafik 4.6 menunjukkan lengkung lembah dari SFOC terhadap power ketika menggunakan 20% EGR spiral tube pada masing-masing RPM. Didapatkan hasil SFOC setelah menarik garis kebawah dari titik lengkung terendah masing-masing RPM. Didapatkan RPM 1800 nilai SFOC sebesar 332.7 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari SFOC sebesar 314.1 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari SFOC sebesar 361.0 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari SFOC sebesar 360.0 (gr/kWh), dan RPM 2200 nilai

dari SFOC sebesar 357.0 (gr/kWh). Titik SFOC terendah pada eksperimen 20% EGR spiral tube berada pada RPM 1900 sebesar 314.1 (gr/kWh). Titik lembah lengkung pada masing-masing RPM ini dapat dijadikan nilai power 100% untuk variable 20% EGR Spiral tube. Pada putaran RPM 2100 dan 2200 hanya mampu pada beban 4000 watt.



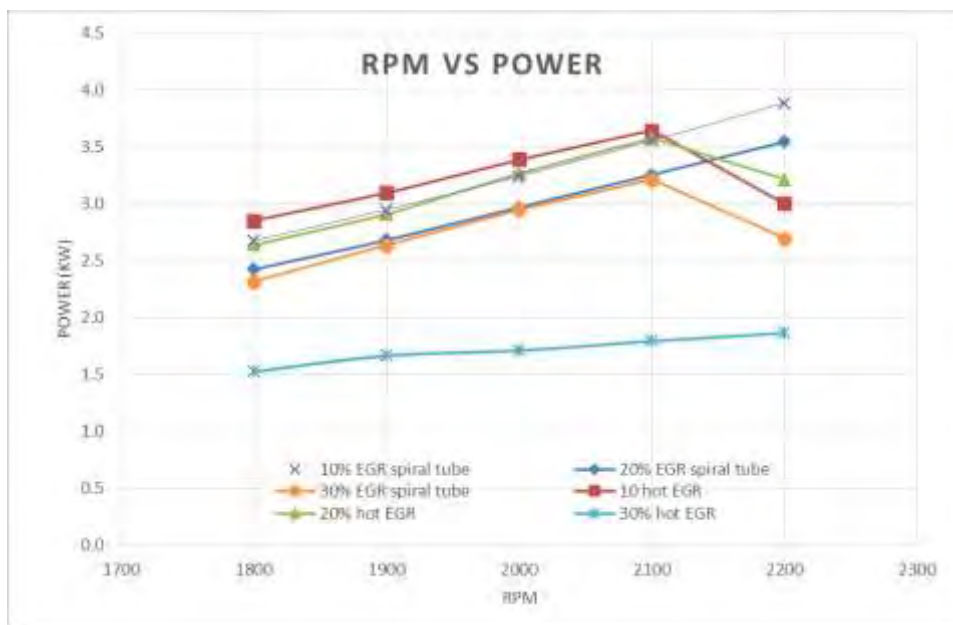
Grafik 4.6. Performansi SFOC menggunakan 20% EGR Spiral tube



Grafik 4.7. Performansi SFOC menggunakan 30% EGR Spiral tube

Pada grafik 4.7 menunjukkan lengkung lembah dari SFOC terhadap power ketika menggunakan 30% EGR spiral tube pada masing-masing RPM. Didapatkan hasil SFOC setelah menarik garis kebawah dari titik lengkung terendah masing-masing RPM. Didapatkan RPM 1800 nilai SFOC sebesar 353.5 (gr/kWh), RPM 1900 nilai dari SFOC sebesar 382.5 (gr/kWh), RPM 2000 nilai dari SFOC sebesar 457.6 (gr/kWh), RPM 2100 nilai dari SFOC sebesar 398.7 (gr/kWh), dan RPM 2200 nilai dari SFOC sebesar 415.5 (gr/kWh). Titik SFOC terendah pada eksperimen 10% EGR spiral tube berada pada RPM 1800 sebesar 353.5 (gr/kWh). Titik lembah lengkung pada masing-masing RPM ini dapat dijadikan nilai power 100% untuk variable 30% EGR Spiral tube.

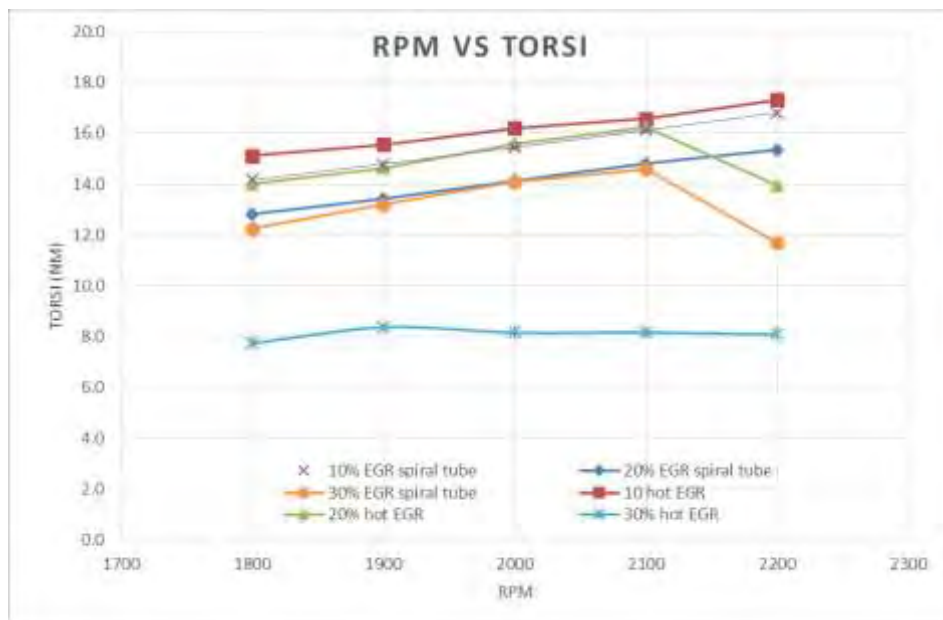
Keterangan hasil perbandingan grafik dari variabel 0, 10, 20, 30% hot EGR dan EGR spiral tube pada motor diesel:



Grafik 4.8. Performansi power vs RPM pada variasi % EGR menggunakan Hot dan Cold EGR spiral tube

Pada grafik 4.8 menunjukkan bahwa nilai perbandingan power yang dihasilkan ketika motor diesel menggunakan sistem hot dan cold EGR spiral tube pada variabel bukan katup EGR 0, 10, 20, 30%. Untuk bukaan katup 0% power maksimum yang dihasilkan 3.6 (kW) pada RPM 1900, pada bukaan katup 10% hot EGR power maksimum yang dihasilkan 3.1 (kW) pada rpm 2000, bukaan katup 20% hot EGR peak power ada pada rpm 2100 dengan power 3.6 (kW) dan untuk bukaan katup 30% hot EGR power yang dihasilkan 1.9 (kW) pada RPM 2200, sedangkan sistem cold EGR spiral tube pada bukaan katup 10% power yang dihasilkan 2.7 (kW) pada RPM 1800, bukaan katup 20% cold EGR spiral tube power yang dihasilkan 2.7

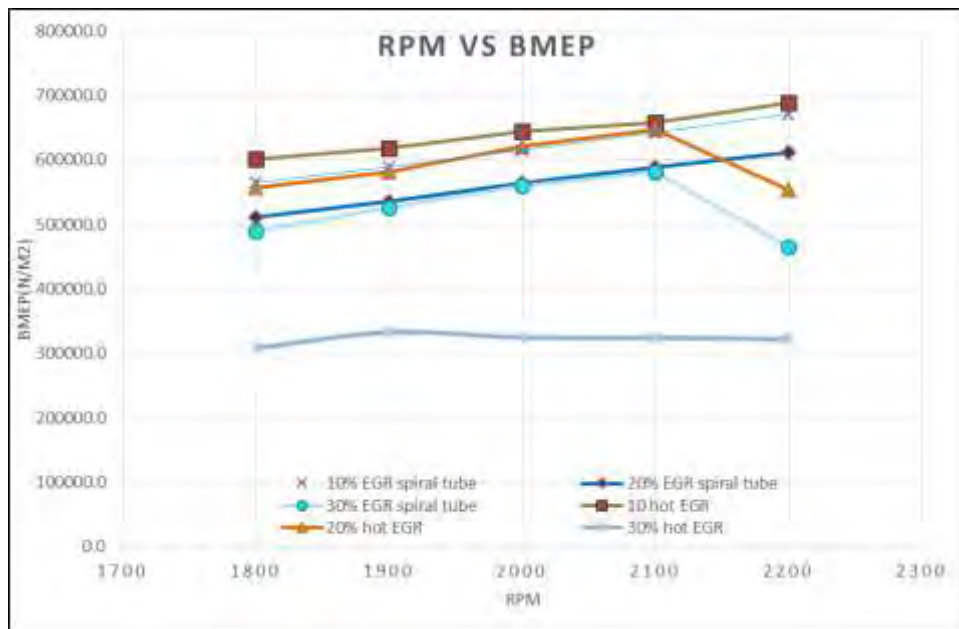
(kW) pada RPM 1900, dan untuk bukaan 30% cold EGR spiral tube power yang dihasilkan mampu menghasilkan power 2.3 (kW) pada RPM 1800. Sehingga bisa terlihat jelas perbedaan ketika menggunakan variabel bukaan katup 30% power lebih baik trendnya ketika menggunakan sistem cold EGR spiral tube dibandingkan dengan hot EGR. Karena semakin besar bukaan katup hot EGR membuat power dari motor diesel semakin mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan sistem cold EGR spiral tube. Sehingga EGR spiral tube lebih lebih baik dari hot EGR.



Grafik 4.9. Performansi torsi vs RPM pada variasi % EGR menggunakan Hot dan Cold EGR spiral tube

Pada grafik 4.9 menjelaskan bahwa perbandingan nilai torsi yang dihasilkan ketika motor diesel menggunakan sistem hot dan cold EGR spiral tube pada variabel bukaan katup EGR 0, 10, 20, 30%. Untuk bukaan katup 0% torsi maksimum yang dihasilkan 18.2 (Nm) pada RPM 1900, pada bukaan katup 10% hot EGR torsi maksimum yang dihasilkan 15.1 (Nm) pada rpm 1800, bukaan katup 20% hot EGR torsi maksimum ada pada rpm 2100 dengan torsi 16.3 (Nm) dan untuk bukaan katup 30% hot EGR torsi yang dihasilkan 8.1 (Nm) pada RPM 2200, sedangkan sistem cold EGR spiral tube pada bukaan katup 10% torsi yang dihasilkan 14.2 (Nm) pada RPM 1800, bukaan katup 20% cold EGR spiral tube torsi yang dihasilkan 13.4 (Nm) pada RPM 1900, dan untuk bukaan 30% cold EGR spiral tube torsi yang dihasilkan mampu menghasilkan 12.2 (Nm) pada RPM 1800. Sehingga bisa terlihat jelas perbedaan ketika menggunakan variabel bukaan katup 30% torsi lebih baik trendnya ketika menggunakan sistem cold EGR spiral tube dibandingkan dengan hot EGR. Sehingga terlihat jelas bahwa ketika sistem EGR dilengkapi dengan cooler hingga menjadi cold

EGR spiral tube maka memiliki performa jauh yang lebih baik dibandingkan dengan sistem EGR yang tanpa pendinginan.



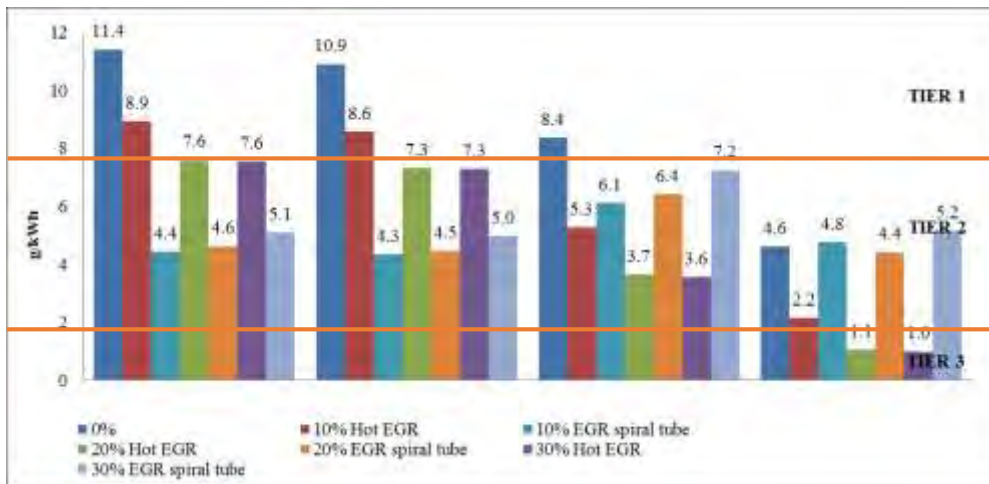
Grafik 4.10. Performansi BMEP vs RPM pada variasi % EGR menggunakan Hot dan Cold EGR spiral tube

Pada grafik 4.10 menunjukkan bahwa untuk perbandingan nilai performansi BMEP yang dihasilkan ketika motor diesel menggunakan sistem hot dan cold EGR spiral tube pada variabel bukaan katup EGR 0, 10, 20, 30%. Untuk bukaan katup 0% BMEP maksimum yang dihasilkan 727656.7 (N/m²) pada RPM 1900, pada bukaan katup 10% hot EGR BMEP maksimum yang dihasilkan 644144.37 (N/m²) pada rpm 2000, bukaan katup 20% hot EGR BMEP maksimum ada pada rpm 2100 dengan nilai BMEP 646967.1 (N/m²) dan untuk bukaan katup 30% hot EGR BMEP yang dihasilkan 321901.5 (N/m²) pada RPM 2200, sedangkan sistem cold EGR spiral tube pada bukaan katup 10% BMEP yang dihasilkan 565027.0 (N/m²) pada RPM 1800, bukaan katup 20% cold EGR spiral tube BMEP yang dihasilkan 536114.0 (N/m²) pada RPM 1900, dan untuk bukaan 30% cold EGR BMEP yang dihasilkan mampu menghasilkan nilai BMEP 489187.7 (N/m²) pada RPM 1800. Sehingga bisa terlihat jelas perbedaan ketika menggunakan variabel bukaan katup 30% BMEP lebih baik trendnya ketika menggunakan sistem cold EGR spiral tube dibandingkan dengan hot EGR. Sehingga terlihat jelas bahwa ketika sistem EGR dilengkapi dengan cooler hingga menjadi cold EGR spiral tube maka memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan sistem EGR yang tanpa pendinginan.

4.2 Hasil Pengambilan Uji Emisi NOx pada motor diesel menggunakan hot dan cold EGR spiral tube

Motor diesel menghasilkan gas buang yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Hasil gas buang dari motor diesel ini mengandung banyak racun dan dapat menyebabkan polusi udara semakin meningkat. Salah satunya emisi NOx, emisi NOx terbentuk akibat oksigen dan nitrogen bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi yang berlangsung di dalam combustion chamber. Hasil emisi gas buang NOx telah diatur pada peraturan pemerintah no 29 tahun 2014 pasal 30. Pada peraturan tersebut menjelaskan bahwa untuk motor diesel dibawah 130 kW mengacu pada peraturan International Maritime Organisation (IMO) tentang standar ambang batas emisi NOx. IMO menjelaskan tentang aturan ambang batas emisi telah dijelaskan pada MARPOL Annex VI. Sehingga untuk mengetahui ambang batas emisi pada motor diesel masuk atau tidaknya dapat membaca literatur pada aturan MARPOL Annex VI.

Exhaust Gas Recirculation (EGR) sebagai salah satu teknologi sederhana yang digunakan untuk mereduksi emisi NOx. Proses kerja EGR adalah dengan mensirkulasikan kembali gas buang kedalam ruang bakar, sehingga tekanan dan suhu pada saat proses pembakaran menjadi menurun. Pada penelitian skripsi ini perlu dilakukan eksperimen terhadap pengujian kandungan NOx setelah motor diesel dimodifikasi dengan penambahan sistem EGR spiral tube dengan pengoptimalan menggunakan EGR berpendinginan udara. Hasil emisi kandungan NOx yang diperoleh dari proses eksperimen terhadap motor diesel dijelaskan pada gambar 4.1 dengan diagram batang dibawah ini.



Grafik 4.11. Diagram batang presentase NOx pada kondisi 100% RPM dan variasi beban

Grafik 4.11 menunjukkan diagram batang dari presentase NO_x motor diesel setelah dilakukan modifikasi dengan menambahkan sistem cold EGR spiral tube dan dioptimalkan pendinginan udara. Presentase diagram batang diatas juga menjelaskan perbedaan saat penggunaan sistem EGR pada variabel hot dan cold EGR spiral tube. Titik pengambilan data emisi menggunakan standar dari Appendix Test Cycle, Marpol Annex VI. Titik pengambilan data dilakukan pada 100% RPM dengan 4 variasi beban yang berbeda yaitu beban 25%, 50%, 75% dan 100%.

Telah dijelaskan pada BAB II bahwa kualifikasi TIER 1 adalah ketika presentase emisi NO_x antara 7.7 sampai 9.8 g/kWh pada putaran lebih dari 2000 RPM. Kualifikasi TIER 2 adalah ketika presentase emisi NO_x motor diesel antara 1.96 sampai 7.7 g/kWh pada putaran 2000 RPM. Kualifikasi TIER 3 adalah ketika presentase emisi NO_x motor diesel yang kurang dari 1.96 g/kWh pada putaran lebih dari 2000 RPM.

Kandungan NO_x yang dihasilkan pada 0% EGR dimana kondisi motor diesel standar tanpa ada penambahan sistem EGR pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 11.4 g/kWh, 10.5 g/kWh, 8.4 g/kWh dan 4.6 g/kWh. Saat kondisi beban 25%, 50%, dan 75% emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 1, sehingga dianggap kandungan NO_x sangat berbahaya. Sedangkan pada saat beban motor berada pada 100%, presentase emisi NO_x mengalami penurunan dan masuk dalam kategori standar TIER 2.

Kandungan NO_x yang dihasilkan pada 10% hot EGR pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 8.9 g/kWh, 8.5 g/kWh, 5.3 g/kWh dan 2.2 g/kWh. Saat kondisi beban 25% dan 50% presentase emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 1, sehingga dianggap kandungan NO_x sangat berbahaya. Sedangkan pada saat beban motor berada pada 75%, dan 100% presentase emisi NO_x mengalami penurunan dan masuk dalam kategori standar TIER 2.

Kandungan NO_x yang dihasilkan pada 10% cold EGR spiral tube pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 4.4 g/kWh, 4.3 g/kWh, 6.1 g/kWh dan 4.8 g/kWh. Pada semua kondisi beban 25% - 100% presentase emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 2.

Kandungan NO_x yang dihasilkan pada 20% hot EGR pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 7.6 g/kWh, 7.3 g/kWh, 3.7 g/kWh dan 1.1 g/kWh. Saat kondisi beban 25%, 50%, dan 75% presentase emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 2, Sedangkan pada saat beban motor berada pada 100% presentase emisi NO_x mengalami penurunan dan masuk dalam kategori standar TIER 3.

Kandungan NO_x yang dihasilkan pada 20% cold EGR spiral tube pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 4.6 g/kWh, 4.5 g/kWh, 6.4 g/kWh dan 4.4 g/kWh. Pada semua kondisi beban 25% - 100% presentase emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 2.

Kandungan NOx yang dihasilkan pada 30% hot EGR pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 7.6 g/kWh, 7.3 g/kWh, 3.6 g/kWh dan 1.0 g/kWh. Saat kondisi beban 25%, 50%, dan 75% presentase emisi NOx masuk dalam kualifikasi TIER 2, Sedangkan pada saat beban motor berada pada 100% presentase emisi NOx mengalami penurunan dan masuk dalam kategori standar TIER 3.

Kandungan NOx yang dihasilkan pada 30% cold EGR spiral tube pada beban 25% - 100% secara bertahap adalah 5.1 g/kWh, 5.0 g/kWh, 7.2 g/kWh dan 5.2 g/kWh. Pada semua kondisi beban 25% - 100% presentase emisi NOx masuk dalam kualifikasi TIER 2.

Dari grafik 4.11 menunjukkan bahwa penggunaan teknologi EGR yang dihitung menurut data statistik berdasarkan titik sampel pengambilan data dengan presentase sebesar 10% variabel hot EGR motor diesel masuk dalam ambang batas TIER 1 pada kondisi beban 25% dan 50%. Sedangkan pada beban 75% dan 100% bukaan katup 10% hot EGR berada pada TIER 2. Untuk penggunaan 20% hot EGR motor diesel mampu masuk dalam batang emisi yang diizinkan pada TIER 2 pada kondisi beban 25%, 50%, dan 75%. Pada beban 100% motor diesel emisi yang dihasilkan semakin baik karena mampu masuk dalam ambang batas yang diizinkan oleh TIER 3. Pada prosentase 30% hot EGR motor diesel mampu masuk dalam batang emisi yang diizinkan pada TIER 2 pada kondisi beban 25%, 50%, dan 75%. Pada beban 100% motor diesel emisi yang dihasilkan semakin baik karena mampu masuk dalam ambang batas yang diizinkan oleh TIER 3. Sedangkan untuk cold EGR spiral tube pada variasi 10% bukaan katup motor diesel mampu masuk dalam ambang batas yang diizinkan oleh TIER 2 pada semua kondisi beban 25% - 100%. Sedangkan untuk penggunaan bukaan katup 20% cold EGR spiral tube motor diesel mampu masuk dalam batang emisi yang diizinkan pada TIER 2 pada semua kondisi beban 25% - 75%. Pada prosentase 30% cold EGR spiral tube motor diesel mampu masuk dalam batang emisi yang diizinkan pada TIER 2 pada kondisi semua beban 25% - 100%. Dengan demikian, ditarik kesimpulan penggunaan cold EGR spiral tube dengan berpendinginan udara sangat direkomendasikan pada beban sampai dengan 50 % saja. Untuk beban 50% – 100% juga masih direkomendasikan dikarenakan presentase emisi NOx masih masuk dalam ambang batas TIER 2.

4.3 Pembahasan

Pada sub bab ini menjelaskan secara keseluruhan mengenai pembahasan umum dari hasil performa dan hasil presentase emisi Nox dari motor diesel yang mana telah dijelaskan pada bab sebelumnya. pada sub bab pembahasan ini merupakan suatu analisa untuk menghasilkan sebuah grafik yang diperoleh dari tahap-tahap yang telah dilakukan pada proses eksperimen di motor diesel menggunakan sistem cold EGR spiral tube dengan variasi presentase bukaan katup EGR menggunakan Angle Globe Valve. Analisa yang didapatkan dari hasil eksperimen akan dibandingkan dengan dasar teori yang sudah ada terkait dengan sistem EGR dan hasil-hasil yang sudah ada lainnya pada referensi penelitian sebelumnya.

Berdasarkan hasil eksperimen didapatkan grafik SFOC seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 sampai 4.7. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa penggunaan variabel EGR yang menggunakan cold EGR spiral tube sebesar 10% mampu memberikan nilai SFOC yang lebih baik dibandingkan dengan EGR tanpa pendinginan udara (hot EGR) pada performa motor diesel. Pada penggunaan 10% hot EGR, nilai SFOC bertambah menjadikan performa diesel engine mengalami penurunan, sedangkan penggunaan 10% cold EGR spiral tube nilai SFOC berkurang sekitar 2.3% dari nilai SFOC pada 0% EGR. pada grafik 20% hot EGR juga mengalami penurunan performa akibat nilai SFOC yang bertambah dari nilai SFOC 0% EGR. Sedangkan penggunaan 20% cold EGR spiral tube nilai SFOC meningkat sehingga terjadi penurunan performa dan pada 30% hot EGR nilai SFOC menjadi meningkat, dan 30% cold EGR nilai SFOC juga meningkat. Mengacu pada penelitian penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa, penambahan prosentase EGR pada motor diesel dapat mengakibatkan peningkatan nilai SFOC dan performa dari motor diesel menjadi turun. Tetapi jika dilakukannya perbandingan terhadap hasil eksperimen pada penelitian ini untuk pengaturan prosentase EGR yang terlalu banyak dapat mengakibatkan nilai SFOC meningkat dan power motor menjadi turun. Sesuai pada hasil eksperimen yang telah dilakukan bahwa pada 10% EGR mengakibatkan nilai SFOC menjadi lebih baik dan power pada motor menjadi meningkat dibandingkan dengan motor diesel yang tanpa menggunakan sistem EGR. Untuk nilai SFOC dapat semakin baik jika prosentase EGR dibawah 10% dikarenakan motor diesel yang digunakan pada eksperimen ini masih menggunakan sistem penginjeksian bahan bakar konvensional, sehingga mesin tidak mampu mengontrol air fuel ratio (AFR) selama proses pembakaran. Dengan demikian penambahan exhaust gas pada EGR ini menyempurnakan AFR hanya pada batas maksimal 10% EGR. Sedangkan untuk nilai SFOC pada 20% dan 30% cold EGR spiral tube masih mampu berada dibawah 0%EGR, untuk 20% hot EGR dan 30% EGR nilai SFOC berada diatas 0% diakibatkan karena gas buang yang bersifat inert gas terlalu banyak yang dimasukkan kedalam ruang bakar sehingga mengubah nilai AFR menjadi campuran kaya.

Hasil dari performa selain nilai SFOC meliputi grafik power, torsi dan BMEP pada masing-masing variasi presentase EGR dan juga variabel penggunaan hot dan cold EGR spiral tube pada motor diesel. Hasil dari grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.8 sampai 4.10. Pada grafik tersebut secara visual menunjukkan bahwa penggunaan presentase 10% EGR tidak menunjukkan perubahan trend grafik secara signifikan, bahkan terlihat jelas pada RPM awal terlihat penggunaan 10% hot EGR SFOC mengalami penurunan dan pada 10% cold EGR menyebabkan nilai power, torsi dan BMEP menjadi meningkat dibandingkan dengan 0% EGR. Beberapa analisa muncul dari hasil grafik penggunaan prosentase 10% EGR bahwa dengan penambahan 10% EGR spiral tube pada motor diesel dapat merubah nilai AFR menjadi lebih baik sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna. Sedangkan pada penggunaan 20% hot dan cold EGR spiral tube menunjukkan bahwa terjadi drop power, torsi, dan BMEP setelah 1800 RPM. Tetapi penggunaan prosentase 30% hot EGR tidak mampu memberikan power maksimal pada motor diesel sehingga performa dari motor mengalami penurunan yang cukup drastis. Sehingga pada variabel motor diesel pada penggunaan hot EGR hanya mampu hingga penambahan 20% bukaan katup pada EGR dan untuk 10% cold EGR spiral tube power yang dihasilkan ketika melihat hasil eksperimen dan dijadikan trend grafik masih berada tidak jauh dari 0% EGR hanya berkurang sekitar 2,3% nilai power dari motor diesel. Sehingga berdasarkan hasil eksperimen pada sistem EGR yang dilengkapi dengan cold EGR spiral tube mampu memberikan variasi presentase bukaan katup hingga 20%. Pada eksperimen yang telah dilakukan ini jika dibandingkan dengan hasil analisa dari penelitian-penelitian sebelumnya, dimana penggunaan EGR spiral tube dapat mengakibatkan penurunan nilai power, torsi, BMEP serta peningkatan nilai dari SFOC pada bukaan katup 10% saja.

Diketahui bahwa secara fungsi sistem EGR merupakan alat sederhana yang digunakan oleh beberapa peneliti sebagai alat teknologi pereduksi NOx. Metode yang digunakan pada sistem ini adalah dengan memotong peak combustion pressure sehingga temperatur saat proses pembakaran menjadi menurun. Dengan menurunnya temperatur proses pembakaran maka pembentukan nitrogen dan oksigen dapat diminimalisir atau dapat dikatakan tidak dapat terbentuk. Hasil dari uji emisi presentase kandungan NOx pada eksperimen ini setelah penambahan sistem EGR yang dilengkapi dengan pendinginan udara ditunjukkan pada grafik 4.11. Menyatakan bahwa grafik tersebut terlihat secara signifikan penggunaan dari sistem cold EGR spiral tube pada beban 25% mampu mereduksi kadar NOx hingga 61.4% pada 10% cold EGR spiral tube, 60% pada 20% cold EGR spiral tube, dan 55.2% pada 30% cold EGR spiral tube. Pada beban 25% tergolong masuk pada presentase ambang batas TIER 2. Sehingga kandungan emisi NOx sistem cold EGR spiral tube pada beban 25% jauh lebih baik dibandingkan dengan sistem tanpa EGR dan hot EGR. penggunaan dari sistem cold EGR spiral tube pada beban 50% mampu mereduksi kadar NOx hingga 60.5% pada 10% cold EGR spiral tube, 59% pada 20% cold EGR spiral tube, dan 54.1% pada 30% cold EGR spiral tube. Pada beban 50% tergolong

masuk pada presentase ambang batas TIER 2. Dan pada penggunaan dari sistem cold EGR spiral tube pada beban 75% mampu mereduksi kadar NOx hingga 27.3% pada 10% cold EGR spiral tube, 24% pada 20% cold EGR spiral tube, dan 14.2% pada 30% cold EGR spiral tube. Pada beban 75% tergolong masuk pada presentase ambang batas TIER 2. Tetapi mengalami penurunan pereduksian nya dari beban 25% dan 50%. Dan pada penggunaan dari sistem cold EGR spiral tube pada beban 100% cenderung mengalami kenaikan kandungan emisi NOx. Diakibatkan mungkin design manufaktur cold EGR spiral tube kurang optimal pada beban 100%.

Dari beberapa eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini, menunjukkan bahwa penggunaan EGR yang dilengkapi dengan cold EGR spiral tube dapat memberikan dampak yang lebih baik pada motor diesel sehingga mampu memperbaiki nilai performa dan kadar emisi NOx. Dibandingkan dengan sistem yang tanpa menggunakan cold EGR spiral tube memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan saat penggunaan sistem EGR pada motor diesel, yaitu penggunaan EGR hanya dibatasi hingga 20% saja karena massa gas inert yang terlalu banyak akan mengakibatkan power motor diesel menjadi drop dan akan merugikan pemakai. Sedangkan untuk sistem EGR yang berpendinginan udara (cold EGR) mampu hingga variasi bukaan katup 20% EGR diikuti dengan nilai performa tidak berada jauh dengan 0% EGR dan 10% cold EGR spiral tube ini paling optimal dalam menurunkan kadar emisi NOx hingga 4,4 g/kWh atau sebesar 61,4%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan pada sistem hot dan cold EGR spiral tube yang dipasang pada motor diesel, maka saya sebagai penulis menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan cold EGR spiral tube pada bukaan katup 10% mampu menurunkan nilai SFOC sebesar 2.3% dari pada sistem 0% EGR. Sehingga performa mesin diesel yang dihasilkan mengalami peningkatan. Berdasarkan data yang diambil pada bukaan katup 20% dan 30% cold EGR spiral tube cenderung mengalami penurunan performa. Dan pada hot EGR pada bukaan katup 10%, 20%, 30% cenderung mengalami penurunan performa motor diesel dibandingkan dengan sistem 0% EGR (tanpa menggunakan EGR).
2. Pengoptimalan sistem EGR dengan penambahan 10% cold EGR spiral tube kadar emisi NOx yang dihasilkan pada motor mampu berkurang hingga 4,4 g/kWh atau sebesar 61,4% masuk pada spesifikasi TIER 2. Sedangkan untuk 20% dan 30% kandungan emisi mengalami kenaikan tetapi masih masuk dalam spesifikasi TIER 2.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan ada beberapa saran yang akan saya sampaikan sebagai penulis sebagai berikut:

1. Pada sistem cold EGR spiral tube dapat dilakukan pengujian *combustion process* untuk mengetahui hasil yang dihasilkan pada motor diesel setelah di tambahkan dengan sistem cold EGR spiral tube.
2. Dapat dilakukan pengujian sistem cold EGR spiral tube dengan bahan bakar yang berbeda untuk mengetahui perubahan performa dan NOx yang lebih baik.
3. Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem cold EGR spiral tube dengan mengubah design manufaktur cold EGR spiral tube menjadi lebih besar diameter nya untuk menghasilkan sistem cold EGR spiral tube lebih optimal dari performa dan juga penurunan kandungan dari NOx.

DAFTAR PUSTAKA

- Hountalas, D. T., Mavropoulos, G.C., & Binder, K.B. (2008). Effect of exhaust gas recirculation (EGR) temperature for various EGR rates on heavy duty DI diesel engine performance and emissions. *Energy*, 33(2), 272-283.
- P.Saichaitanya, dkk. 2013. Impact of Cold and Hot Exhaust Gas Recirculation on Diesel Engine, *Internasional Journal of Engineering Research and Applications* Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.430-434
- Nasser, Ghasembaglou, dkk 2016. Efficiency Design of Exhaust Gas cooler in Cold EGR equipment diesel engine. *Alexandria Engineering Journal* (2016) 55, 769-778
- Soratha S., Harilal, Rahhod P., Pravin, 2012. Effect Of Exhaust Gas Recirculation (EGR) On NOx Emission From C.I. Engine. *Review Study. India*.
- Dlukha, Samsu. 2012. Studi experimental penggunaan venturi scrubber dan cyclonic separator untuk meningkatkan kinerja pada system exhaust gas recirculation (EGR) dalam menurunkan NOx pada motor diesel. *ITS-PAPER*. Surabaya
- Darsono D., 2010, "Simulasi CFD Penggunaan EGR terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Motor Diesel" FT-UI, Indonesia
- Umam, khoirul. 2009. Optimalisasi rasio exhaust recirculation (EGR) pada berbagai pembebanan motor diesel dengan pemodelan simulasi. *ITS-PAPER*. Surabaya.
- Ge J.C., Min S.K. , Sam K.Y. and Nag J.C., 2015, "Effects of Pilot Injection Timing and EGR on Combustion, Performance and Exhaust Emissions in a Common Rail Diesel Engine Fueled with a Canola Oil Biodiesel-Diesel Blend" *Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Korea*.
- K. Venkateswarlu, "Effect of Exhaust Gas recirculation and ethyl hexyls nitrate additive on bio diesel fuelled diesel engine for the reduction of Nox Emissions", *Frontiers in Energy*, July 2012, Vol. 2095-1698.
- N.Ladommatos, S. Abdelhalim and H. Zhao, Control of Oxides of nitrogen from diesel engines using diluents which minimizing the impact on particulate pollutants, *Applied Thermal Engineering*, vol. 18, Issue 11, November 1998, pp 963-980, 1998.
- Mohamed Y.E. Selim, Effect of exhaust gas recirculation on some combustion characteristics of dual fuel engine, *Energy Conservation and Management*, vol.44, pp 707 -721, 2003

Anugrah.,2016, “STUDI ANALISIS PERFORMA, PROSES PEMBAKARAN DAN NO_x PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN HOT DAN COLD EGR BERBASIS EKSPERIMEN”. ITS-PAPER. Surabaya

IMO, Annex VI MARPOL 73/78, 1998. Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships and NO_x Technical Code. International Maritime Organization. London

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil data performa

Pada lampiran ini disajikan hasil dari pengambilan data untuk mencari nilai dari performa. Setelah data ini diolah maka akan dibandingkan antara sistem EGR yang cold EGR spiral tube dan tanpa pendinginan (hot EGR) dengan melihat dari sisi power, torsi, sfoc, dan BMEP yang dihasilkan dari motor diesel tersebut yang hasilnya nanti akan dibuat sebuah grafik perbandingan untuk melihat hasil yang lebih baik antara EGR berpendinginan udara dengan EGR yang tanpa pendinginan. Untuk memperoleh hasil dari performa tersebut maka dibutuhkan variabel pendukung seperti RPM Engine, RPM generator, nilai $\cos \Theta$, arus, voltage, dan volume bahan bakar yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil dari sfoc. Hasil – hasil dari data cold EGR dan hot EGR yang telah diambil sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Data 0% EGR menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan (volt)	Arus (ampere)											
1800	1802	1000	1302	182	3.5	0.00001	46.04	0.767	0.0128	840000	1.118	0.603	656.8	1088.6	3.199	127319.98
1800	1804	2000	1299	191	7.6	0.00001	42.45	0.708	0.0118	840000	1.115	1.378	712.4	516.9	7.298	290807.71
1800	1804	3000	1292	192	11.4	0.00001	34.69	0.578	0.0096	840000	1.109	2.089	871.7	417.2	11.065	440871.14
1800	1804	4000	1290	189	15.3	0.00001	30.38	0.506	0.0084	840000	1.108	2.764	995.4	360.1	14.641	583353.26
1800	1803	5000	1279	183	18.8	0.00001	27.93	0.466	0.0078	840000	1.098	3.317	1082.7	326.4	17.578	700013.64
1900	1905	1000	1379	196	3.7	0.00001	43.73	0.729	0.0121	840000	1.122	0.685	691.5	1010.2	3.433	136855.30
1900	1901	2000	1373	204	7.8	0.00001	42.11	0.702	0.0117	840000	1.117	1.509	718.1	476.0	7.582	301593.75
1900	1902	3000	1365	205	11.8	0.00001	35.65	0.594	0.0099	840000	1.110	2.307	848.2	367.7	11.588	461180.91
1900	1905	4000	1358	201	15.6	0.00001	30.19	0.503	0.0084	840000	1.105	3.006	1001.7	333.3	15.074	600881.72
1900	1906	5000	1346	194	19.4	0.00001	27.88	0.465	0.0077	840000	1.095	3.640	1084.6	298.0	18.245	727656.66
2000	2003	1000	1442	209	3.8	0.00001	45.92	0.765	0.0128	840000	1.114	0.755	658.5	872.6	3.600	143328.56
2000	2004	2000	1441	216	8.1	0.00001	42.48	0.708	0.0118	840000	1.114	1.664	711.9	427.9	7.932	315967.85
2000	2003	3000	1439	218	12.3	0.00001	33.26	0.554	0.0092	840000	1.112	2.553	909.2	356.1	12.179	484918.68
2000	2004	4000	1430	214	16.3	0.00001	26.07	0.435	0.0072	840000	1.105	3.342	1160.0	347.0	15.935	634794.93
2000	2003	5000	1418	207	20.1	0.00001	22.98	0.383	0.0064	840000	1.096	4.021	1315.9	327.3	19.178	763586.56
2100	2101	1000	1517	224	3.9	0.00001	41.77	0.696	0.0116	840000	1.116	0.829	724.0	873.8	3.768	149863.25
2100	2104	2000	1514	230	8.4	0.00001	41.59	0.693	0.0116	840000	1.114	1.836	727.1	396.0	8.337	332085.07
2100	2107	3000	1510	232	12.7	0.00001	32.87	0.548	0.0091	840000	1.111	2.807	920.0	327.7	12.730	507788.50
2100	2102	4000	1498	223	15.9	0.00001	25.82	0.430	0.0072	840000	1.102	3.405	1171.2	343.9	15.479	615968.18
2100	2100	5000	1472	217	20.6	0.00001	21.78	0.363	0.0061	840000	1.083	4.369	1388.4	317.8	19.878	790291.39
2200	2201	1000	1594	239	4.1	0.00001	42.28	0.705	0.0117	840000	1.120	0.927	715.2	771.9	4.022	159978.47
2200	2202	2000	1584	243	8.7	0.00001	40.08	0.668	0.0111	840000	1.113	2.012	754.5	375.1	8.728	347326.93
2200	2203	3000	1573	244	13.1	0.00001	26.39	0.440	0.0073	840000	1.105	3.063	1145.9	374.1	13.283	528811.03
2200	2202	4000	1568	238	17.3	0.00001	23.06	0.384	0.0064	840000	1.101	3.958	1311.4	331.3	17.173	683353.00
2200	2205	5000	1539	227	21.1	0.00001	14.52	0.242	0.0040	840000	1.081	4.691	2082.6	444.0	20.326	809911.94

Tabel 2. Tabel Data 10% Hot EGR menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan (volt)	Arus (ampere)											
1800	1800	1000	1302	191	3.6	0.00001	69	1.150	0.0192	840000	1.118	0.651	438.3	672.9	3.457	137433.62
1800	1801	2000	1300	198	7.6	0.00001	49	0.817	0.0136	840000	1.116	1.427	617.1	432.3	7.573	301233.69
1800	1800	3000	1295	199	11.4	0.00001	38	0.633	0.0106	840000	1.112	2.160	795.8	368.4	11.467	455886.01
1800	1801	4000	1289	196	15.2	0.00001	33	0.550	0.0092	840000	1.107	2.850	916.4	321.5	15.120	601471.22
1800	1801	5000	1285	188	18.5	0.00001	27	0.450	0.0075	840000	1.103	3.338	1120.0	335.5	17.707	704359.79
1900	1902	1000	1376	197	3.6	0.00001	59	0.983	0.0164	840000	1.119	0.671	512.5	763.9	3.370	134127.68
1900	1899	2000	1369	207	7.8	0.00001	48	0.800	0.0133	840000	1.114	1.535	630.0	410.4	7.724	306923.12
1900	1902	3000	1366	208	11.8	0.00001	37	0.617	0.0103	840000	1.111	2.339	817.3	349.4	11.749	467587.35
1900	1901	4000	1362	205	15.8	0.00001	29	0.483	0.0081	840000	1.108	3.096	1042.8	336.8	15.558	618873.59
1900	1898	5000	1353	198	19.1	0.00001	23	0.383	0.0064	840000	1.101	3.638	1314.8	361.4	18.315	727392.58
2000	2002	1000	1445	216	3.8	0.00001	54	0.900	0.0150	840000	1.117	0.778	560.0	719.5	3.714	147821.50
2000	2000	2000	1444	219	8.1	0.00001	43	0.717	0.0119	840000	1.116	1.683	703.3	417.8	8.041	319690.73
2000	2000	3000	1437	220	12.3	0.00001	33	0.550	0.0092	840000	1.110	2.580	916.4	355.1	12.326	490048.57
2000	1998	4000	1429	217	16.3	0.00001	28	0.467	0.0078	840000	1.104	3.392	1080.0	318.4	16.218	644144.37
2000	2000	5000	1421	210	19.8	0.00001	21	0.350	0.0058	840000	1.098	4.009	1440.0	359.1	19.154	761480.02
2100	2102	1000	1519	224	3.9	0.00001	50	0.833	0.0139	840000	1.118	0.827	604.8	730.9	3.761	149665.93
2100	2101	2000	1519	230	8.4	0.00001	43	0.717	0.0119	840000	1.118	1.830	703.3	384.3	8.321	330991.97
2100	2102	3000	1513	231	12.6	0.00001	32	0.533	0.0089	840000	1.113	2.768	945.0	341.4	12.580	500624.04
2100	2100	4000	1500	226	16.8	0.00001	25	0.417	0.0069	840000	1.104	3.642	1209.6	332.1	16.569	658710.47
2100	2102	5000	1489	220	20.4	0.00001	20	0.333	0.0056	840000	1.096	4.337	1512.0	348.7	19.711	784379.54
2200	2202	1000	1591	220	4.1	0.00001	47	0.783	0.0131	840000	1.118	0.855	643.4	752.9	3.708	147538.19
2200	2202	2000	1586	238	8.6	0.00001	39	0.650	0.0108	840000	1.114	1.945	775.4	398.6	8.440	335846.12
2200	2201	3000	1579	242	13	0.00001	28	0.467	0.0078	840000	1.109	3.003	1080.0	359.6	13.036	518495.15
2200	2200	4000	1571	239	17.4	0.00001	21.2	0.353	0.0059	840000	1.104	3.990	1426.4	357.5	17.327	688872.85
2200	2202	5000	1557	231	21	0.00001	16.4	0.273	0.0046	840000	1.094	4.696	1843.9	392.6	20.375	810794.45

Tabel 3. Tabel Data 20% Hot EGR menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban	Putaran Aluminator	Alternator		Volume Bahan Bakar	Waktu	Waktu	Waktu	Densitas	Efisiensi Slip	Daya	FCR (mf)	SFOC	Torsi	BMEP
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan	Arus											
		(watt)	(rpm)	(volt)	(ampere)	(m3)	(detik)	(menit)	(jam)	(gr/m3)		(kw)	(gr/h)	(gr/kwh)	(Nm)	(N/m2)
1800	1799	1000	1302	181	3.5	0.00001	63	1.050	0.0175	840000	1.118	0.600	480.0	800.0	3.187	126620.42
1800	1799	2000	1297	189	7.4	0.00001	50	0.833	0.0139	840000	1.114	1.330	604.8	454.8	7.062	280621.96
1800	1802	3000	1294	190	11.3	0.00001	38	0.633	0.0106	840000	1.111	2.046	795.8	388.9	10.849	431783.33
1800	1798	4000	1292	188	14.7	0.00001	30	0.500	0.0083	840000	1.109	2.638	1008.0	382.1	14.017	556648.16
1800	1798	4400	1285	185	16.3	0.00001	26	0.433	0.0072	840000	1.103	2.894	1163.1	401.9	15.378	610694.93
1900	1900	1000	1374	194	3.6	0.00001	58	0.967	0.0161	840000	1.118	0.662	521.4	788.0	3.327	132277.39
1900	1902	2000	1373	203	7.7	0.00001	46	0.767	0.0128	840000	1.117	1.482	657.4	443.6	7.444	296267.72
1900	1899	3000	1365	204	11.7	0.00001	35	0.583	0.0097	840000	1.110	2.276	864.0	379.6	11.452	455042.00
1900	1898	4000	1361	200	15.2	0.00001	28	0.467	0.0078	840000	1.107	2.908	1080.0	371.4	14.636	581277.57
1900	1899	4200	1357	200	16.3	0.00001	24	0.400	0.0067	840000	1.104	3.127	1260.0	402.9	15.733	625181.13
2000	2000	1000	1447	235	3.7	0.00001	58	0.967	0.0161	840000	1.118	0.823	521.4	633.2	3.933	156375.66
2000	2000	2000	1439	219	8	0.00001	41	0.683	0.0114	840000	1.112	1.668	737.6	442.1	7.970	316841.03
2000	1999	3000	1439	221	12.1	0.00001	32	0.533	0.0089	840000	1.112	2.546	945.0	371.1	12.170	483598.51
2000	2002	4000	1435	221	15.5	0.00001	25	0.417	0.0069	840000	1.109	3.271	1209.6	369.8	15.610	621212.49
2000	2002	4200	1435	213	16.9	0.00001	22	0.367	0.0061	840000	1.109	3.437	1374.5	399.9	16.404	652803.56
2100	2099	1000	1516	229	3.9	0.00001	51	0.850	0.0142	840000	1.116	0.848	592.9	699.6	3.858	153309.47
2100	2098	2000	1515	231	8.2	0.00001	37	0.617	0.0103	840000	1.115	1.799	817.3	454.3	8.192	325372.85
2100	2102	3000	1510	233	12.5	0.00001	30	0.500	0.0083	840000	1.111	2.775	1008.0	363.2	12.613	501946.11
2100	2102	4000	1508	230	16.3	0.00001	24	0.400	0.0067	840000	1.110	3.577	1260.0	352.3	16.258	646967.11
2200	2199	1000	1592	246	4	0.00001	46	0.767	0.0128	840000	1.118	0.932	657.4	705.6	4.048	160849.66
2200	2200	2000	1587	247	8.5	0.00001	34	0.567	0.0094	840000	1.115	1.994	889.4	446.0	8.660	344276.25
2200	2199	3000	1580	245	12.9	0.00001	26.8	0.447	0.0074	840000	1.110	3.015	1128.4	374.2	13.100	520555.23
2200	2199	3200	1574	243	13.8	0.00001	25.9	0.432	0.0072	840000	1.106	3.211	1167.6	363.6	13.952	554432.57

Tabel 4. Tabel Data 30% Hot EGR menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban	Putaran Aluminator	Alternator		Volume Bahan Bakar	Waktu	Waktu	Waktu	Densitas	Efisiensi Slip	Daya	FCR (mf)	SFOC	Torsi	BMEP
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan	Arus											
(volt)	(ampere)	(watt)	(rpm)	(volt)	(ampere)	(m3)	(detik)	(menit)	(jam)	(gr/m3)		(kw)	(gr/h)	(gr/kwh)	(Nm)	(N/m2)
1800	1800	1000	1302	185	3.5	0.00001	62	1.033	0.0172	840000	1.118	0.613	487.7	795.3	3.255	129418.66
1800	1798	2000	1298	192	7.4	0.00001	48	0.800	0.0133	840000	1.114	1.350	630.0	466.7	7.173	284856.65
1800	1802	2200	1300	190	8.1	0.00001	47	0.783	0.0131	840000	1.116	1.460	643.4	440.7	7.741	308079.91
1800	1802	2300	1298	189	8.5	0.00001	42	0.700	0.0117	840000	1.114	1.526	720.0	471.7	8.093	322087.70
1900	1902	1000	1374	196	3.7	0.00001	59	0.983	0.0164	840000	1.118	0.687	512.5	746.0	3.451	137353.32
1900	1902	2000	1373	204	7.7	0.00001	44	0.733	0.0122	840000	1.117	1.489	687.3	461.5	7.481	297727.16
1900	1900	2200	1365	203	8.6	0.00001	40	0.667	0.0111	840000	1.110	1.665	756.0	454.1	8.372	332835.73
2000	1999	1000	1444	211	3.7	0.00001	53	0.883	0.0147	840000	1.116	0.741	570.6	770.2	3.541	140697.08
2000	2002	2000	1443	217	8.3	0.00001	38	0.633	0.0106	840000	1.115	1.710	795.8	465.3	8.162	324817.64
2100	2098	1000	1516	227	3.9	0.00001	52	0.867	0.0144	840000	1.116	0.840	581.5	692.2	3.826	151970.53
2100	2102	1800	1518	231	7.4	0.00001	41	0.683	0.0114	840000	1.117	1.620	737.6	455.2	7.364	293048.86
2100	2098	2000	1513	230	8.2	0.00001	38	0.633	0.0106	840000	1.113	1.793	795.8	443.7	8.167	324392.55
2200	2198	1000	1580	241	4.1	0.00001	52	0.867	0.0144	840000	1.110	0.943	581.5	616.9	4.097	162746.60
2200	2202	1800	1591	246	8	0.00001	38	0.633	0.0106	840000	1.118	1.864	795.8	426.8	8.089	321901.52

Tabel 5. Tabel Data 10% Cold EGR spiral tube menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan (volt)	Arus (ampere)											
1800	1803	1000	1302	173	3.5	0.00001	60.3	1.005	0.0168	840000	1.118	0.574	501.5	874.4	3.039	121023.93
1800	1807	2000	1296	187	7.4	0.00001	56.5	0.942	0.0157	840000	1.113	1.317	535.2	406.5	6.962	277866.65
1800	1802	3000	1291	190	11.4	0.00001	46.5	0.775	0.0129	840000	1.108	2.069	650.3	314.3	10.970	436616.67
1800	1803	4000	1285	186	15	0.00001	38.8	0.647	0.0108	840000	1.103	2.678	779.4	291.1	14.189	565026.97
1800	1803	5000	1268	180	18.4	0.00001	25.6	0.427	0.0071	840000	1.089	3.221	1181.3	366.7	17.069	679734.29
1900	1901	1000	1374	191	3.6	0.00001	63.8	1.063	0.0177	840000	1.118	0.651	474.0	727.6	3.274	130231.86
1900	1903	2000	1368	199	7.6	0.00001	42.2	0.703	0.0117	840000	1.113	1.439	716.6	497.9	7.225	287705.84
1900	1905	3000	1366	202	11.7	0.00001	33.9	0.565	0.0094	840000	1.111	2.252	892.0	396.1	11.295	450250.95
1900	1907	4000	1356	198	15.5	0.00001	27.2	0.453	0.0076	840000	1.103	2.946	1111.8	377.4	14.760	588986.45
1900	1900	5000	1323	187	18.9	0.00001	22.2	0.370	0.0062	840000	1.076	3.477	1362.2	391.7	17.486	695203.06
2000	2009	1000	1450	206	3.7	0.00001	61	1.017	0.0169	840000	1.120	0.720	495.7	688.3	3.425	136794.63
2000	2005	2000	1444	215	7.9	0.00001	41.4	0.690	0.0115	840000	1.116	1.612	730.4	453.2	7.680	306102.21
2000	2002	3000	1434	214	12.1	0.00001	30	0.500	0.0083	840000	1.108	2.474	1008.0	407.4	11.808	469913.69
2000	2001	4000	1421	210	16	0.00001	24.4	0.407	0.0068	840000	1.098	3.240	1239.3	382.5	15.470	615337.39
2000	2002	5000	1375	196	19.3	0.00001	20	0.333	0.0056	840000	1.063	3.770	1512.0	401.1	17.990	715943.56
2100	2102	1000	1517	220	3.9	0.00001	56.5	0.942	0.0157	840000	1.116	0.814	535.2	657.7	3.699	147187.12
2100	2100	2000	1510	226	8.1	0.00001	40.5	0.675	0.0113	840000	1.111	1.744	746.7	428.1	7.936	315489.29
2100	2100	3000	1502	228	12.5	0.00001	29	0.483	0.0081	840000	1.105	2.730	1042.8	382.0	12.420	493790.84
2100	2107	4000	1495	224	16.5	0.00001	24.8	0.413	0.0069	840000	1.100	3.557	1219.4	342.8	16.129	643367.14
2100	2103	5000	1405	199	19.5	0.00001	15.4	0.257	0.0043	840000	1.034	3.974	1963.6	494.2	18.053	718752.67
2200	2202	1000	1592	235	4	0.00001	48.8	0.813	0.0136	840000	1.118	0.890	619.7	696.3	3.861	153657.19
2200	2203	2000	1584	240	8.4	0.00001	33.4	0.557	0.0093	840000	1.113	1.918	905.4	472.0	8.320	331210.01
2200	2207	3000	1580	241	12.9	0.00001	26.7	0.445	0.0074	840000	1.110	2.966	1132.6	381.9	12.839	512056.37
2200	2209	4000	1565	236	17.1	0.00001	24.2	0.403	0.0067	840000	1.099	3.887	1249.6	321.5	16.810	671060.81
2200	2202	5000	1412	202	19.6	0.00001	14.3	0.238	0.0040	840000	0.992	4.226	2114.7	500.4	18.337	729694.13

Tabel 6. Tabel Data 20% Cold EGR spiral tube menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan (volt)	Arus (ampere)											
1800	1801	1000	1297	161	3.3	0.00001	72	1.200	0.0200	840000	1.114	0.505	420.0	831.4	2.680	106602.64
1800	1806	2000	1300	178	7.2	0.00001	60.6	1.010	0.0168	840000	1.116	1.216	499.0	410.4	6.432	256553.09
1800	1803	3000	1290	175	10.9	0.00001	49.8	0.830	0.0138	840000	1.108	1.824	607.2	333.0	9.663	384806.98
1800	1805	4000	1285	173	14.6	0.00001	37.5	0.625	0.0104	840000	1.103	2.424	806.4	332.7	12.831	511521.55
1800	1805	5000	1264	168	17.8	0.00001	30.8	0.513	0.0086	840000	1.085	2.918	981.8	336.5	15.443	615673.29
1900	1900	1000	1373	180	3.4	0.00001	74.4	1.240	0.0207	840000	1.117	0.580	406.5	700.5	2.918	115997.60
1900	1902	2000	1370	189	7.4	0.00001	42.4	0.707	0.0118	840000	1.114	1.329	713.2	536.7	6.675	265669.11
1900	1904	3000	1364	188	11.4	0.00001	40.3	0.672	0.0112	840000	1.109	2.045	750.4	366.9	10.263	408899.37
1900	1907	4000	1356	185	15.1	0.00001	35.9	0.598	0.0100	840000	1.103	2.682	842.3	314.1	13.435	536113.93
1900	1901	5000	1321	183	18.1	0.00001	17.9	0.298	0.0050	840000	1.074	3.264	1689.4	517.6	16.404	652521.69
2000	2005	1000	1449	191	3.6	0.00001	49.6	0.827	0.0138	840000	1.120	0.650	609.7	937.6	3.098	123491.08
2000	2003	2000	1441	199	7.6	0.00001	33.4	0.557	0.0093	840000	1.114	1.438	905.4	629.6	6.860	273130.87
2000	2005	3000	1437	200	11.7	0.00001	33.2	0.553	0.0092	840000	1.110	2.231	910.8	408.2	10.632	423767.06
2000	2007	4000	1425	198	15.6	0.00001	28.2	0.470	0.0078	840000	1.101	2.970	1072.3	361.0	14.139	564083.02
2000	2006	5000	1365	181	18.7	0.00001	24.5	0.408	0.0068	840000	1.055	3.398	1234.3	363.3	16.182	645291.04
2100	2106	1000	1520	205	3.7	0.00001	51.5	0.858	0.0143	840000	1.119	0.718	587.2	817.9	3.257	129861.41
2100	2104	2000	1512	210	7.9	0.00001	44	0.733	0.0122	840000	1.113	1.579	687.3	435.4	7.168	285537.20
2100	2102	3000	1505	211	12	0.00001	31.5	0.525	0.0088	840000	1.108	2.421	960.0	396.6	11.002	437819.71
2100	2100	4000	1487	209	16.1	0.00001	25.8	0.430	0.0072	840000	1.094	3.256	1172.1	360.0	14.812	588883.38
2200	2204	1000	1590	210	3.8	0.00001	37.9	0.632	0.0105	840000	1.117	0.756	797.9	1054.7	3.279	130609.23
2200	2203	2000	1589	221	8.2	0.00001	35.2	0.587	0.0098	840000	1.116	1.719	859.1	499.8	7.455	296790.73
2200	2200	3000	1572	222	12.5	0.00001	21.5	0.358	0.0060	840000	1.104	2.661	1406.5	528.6	11.555	459386.84
2200	2205	4000	1553	220	16.6	0.00001	23.9	0.398	0.0066	840000	1.091	3.544	1265.3	357.0	15.358	611966.18

Tabel 7. Tabel Data 30% Cold EGR spiral tube menggunakan bahan bakar pertamina dex

Putaran Engine		Beban	Putaran Aluminator	Alternator		Volume Bahan Bakar	Waktu	Waktu	Waktu	Densitas	Efisiensi Slip	Daya	FCR (mf)	SFOC	Torsi	BMEP
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan	Arus											
		(watt)	(rpm)	(volt)	(ampere)	(m3)	(detik)	(menit)	(jam)	(gr/m3)		(kw)	(gr/h)	(gr/kwh)	(Nm)	(N/m2)
1800	1807	1000	1307	161	3.1	0.00001	79.5	1.325	0.0221	840000	1.122	0.471	380.4	807.7	2.490	99375.67
1800	1800	2000	1296	176	7.1	0.00001	66.2	1.103	0.0184	840000	1.113	1.189	456.8	384.2	6.311	250919.33
1800	1803	3000	1302	187	10.9	0.00001	46.2	0.770	0.0128	840000	1.118	1.931	654.5	339.0	10.230	407403.94
1800	1809	4000	1281	172	14	0.00001	36.9	0.615	0.0103	840000	1.100	2.318	819.5	353.5	12.243	489187.62
1800	1800	5000	1277	169	17.8	0.00001	21.9	0.365	0.0061	840000	1.096	2.905	1380.8	475.3	15.420	613033.09
1900	1906	1000	1375	164	3.3	0.00001	55.1	0.918	0.0153	840000	1.118	0.512	548.8	1071.2	2.568	102429.06
1900	1904	2000	1360	187	7.2	0.00001	44.2	0.737	0.0123	840000	1.106	1.289	684.2	530.9	6.467	257634.07
1900	1900	3000	1367	195	11.3	0.00001	38.4	0.640	0.0107	840000	1.112	2.098	787.5	375.3	10.551	419481.34
1900	1905	4000	1358	187	14.7	0.00001	30	0.500	0.0083	840000	1.105	2.635	1008.0	382.5	13.215	526777.57
1900	1900	5000	1355	180	18.5	0.00001	19.2	0.320	0.0053	840000	1.102	3.199	1575.0	492.3	16.087	639547.85
2000	2006	1000	1447	191	3.5	0.00001	54.7	0.912	0.0152	840000	1.118	0.633	552.8	873.3	3.015	120226.72
2000	2002	2000	1435	210	7.3	0.00001	40.8	0.680	0.0113	840000	1.109	1.464	741.2	506.3	6.986	278008.68
2000	2005	3000	1437	200	11.7	0.00001	30.1	0.502	0.0084	840000	1.110	2.231	1004.7	450.3	10.632	423767.06
2000	2000	4000	1414	199	15.3	0.00001	22.4	0.373	0.0062	840000	1.093	2.950	1350.0	457.6	14.095	560354.94
2000	2007	5000	1385	185	18.8	0.00001	14.5	0.242	0.0040	840000	1.070	3.441	2085.5	606.1	16.380	653503.49
2100	2103	1000	1519	209	3.4	0.00001	63.9	1.065	0.0178	840000	1.118	0.673	473.2	703.1	3.058	121740.63
2100	2105	2000	1510	220	7.5	0.00001	42	0.700	0.0117	840000	1.111	1.572	720.0	458.0	7.136	284364.32
2100	2108	3000	1508	210	12.1	0.00001	29.2	0.487	0.0081	840000	1.110	2.424	1035.6	427.2	10.988	438501.85
2100	2102	4000	1478	213	15.5	0.00001	23.6	0.393	0.0066	840000	1.088	3.214	1281.4	398.7	14.608	581306.23
2100	2104	5000	1440	198	19.3	0.00001	13.2	0.220	0.0037	840000	1.060	3.818	2290.9	600.0	17.338	690602.45
2200	2203	1000	1587	227	3.3	0.00001	52.1	0.868	0.0145	840000	1.115	0.711	580.4	815.8	3.086	122837.50
2200	2203	2000	1580	233	7.8	0.00001	38.4	0.640	0.0107	840000	1.110	1.734	787.5	454.2	7.519	299337.79
2200	2204	3000	1569	230	12.2	0.00001	27	0.450	0.0075	840000	1.102	2.696	1120.0	415.5	11.685	465406.91

Lampiran 2. Hasil data NOx

Pada lampiran ini disajikan hasil dari pengujian kandungan NOx pada mesin diesel dengan sistem cold EGR spiral tube yang dilakukan dengan pihak UPT K3 SURABAYA



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI
UNIT PELAKSANA TEKNIK KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT K3)



Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8260440, 8260446, Fax 8264277 Surabaya 60234
Email : apta36y@igmail.com : apta36y@yahoo.com

LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
No. PT.04 / VII / 2017

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| I Nama Pengguna Jasa | : MAHASISWA ITS (FARIS) |
| II Alamat | : Kampus ITS, Sukofilo - Surabaya |
| III Jenis Pengukuran | : Kualitas Udara Emisi |
| IV Tanggal Pengukuran | : 5 Juli 2017 |
| V Lokasi Pengukuran | : Mesin Diesel Yanmar, TF 85 DI |
| VI Alat Yang Digunakan | : Exhaust Gas Analysis, ECOM J2KN |
| VII Hasil Pengukuran | : |

NO	Bahan Bakar	Beban (%)	Hasil Pengukuran (NO _x , mg/kwh)
1	Pertamina Dex (30 % Cold Spiral Tube)	25	3243
		50	3349
		75	3822
		100	3679
2	Pertamina Dex (20 % Cold Spiral Tube)	25	2965
		50	3020
		75	3410
		100	3170
3	Pertamina Dex (10 % Cold Spiral Tube)	25	2858
		50	2958
		75	3277
		100	3440

Surabaya, 10 Juli 2017
PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI
UNIT PELAKSANA TEKNIK KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT K3)
S. A. M. T. T. SKM
NIP. 19630111 198803 1 012

Tabel 8. Hasil pengujian Kandungan Nox cold EGR spiral tube

Lampiran III. Rumus Perhitungan Performansi

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \emptyset}{eff\ gen \times eff\ slip}$$

Dimana :

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos \emptyset	: 0.9
Eff Gen	: efisiensi generator (0.85)
Eff Slip	: efisiensi slip (hitung)

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
ρ	: massa jenis bahan bakar (gr/m ³)
v	: volume bahan bakar (m ³)
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml (h)

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)

FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)

P : daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap torak sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja persiklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)

P : daya (kW)

Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m³)

I : jumlah silinder

BIODATA PENULIS



Fatekhun Faris, dilahirkan di Gresik pada tanggal 01 Oktober 1994. Merupakan anak terakhir dari tujuh bersaudara. Penulis merupakan alumni dari MI Al-Furqon Srowo Sidayu, SMP Negeri 1 Sidayu, dan SMA Negeri 1 Gresik. Penulis melanjutkan studi Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2013. Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non akademik. Kegiatan akademik penulis yaitu sebagai grader praktikum *overhaul diesel engine* dalam mata kuliah reparasi permesinan. Sedangkan kegiatan non-akademik penulis yaitu organisasi HIMASISKAL FTK-ITS pada tahun kedua

sebagai staff departemen minat dan bakat, pada tahun ketiga sebagai staff divisi Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) sebagai *Steering Comittee*. Pengalaman kerja penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Samudera Marine Indonesia (SMI), PT. Banter Prima Sentosa, dan PT. Tambanganraya permai.

Fatekhun Faris

Marine Engineering Department

Fatekhun.faris@yahoo.com

Fatekhunfaris16@gmail.com